



TUGAS AKHIR - RE 184804

ANALISIS KONTRIBUSI DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

ELVIN NUR NADHIFATIN
0321154000017

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**ANALISIS KONTRIBUSI DAMPAK
LINGKUNGAN AKIBAT PROSES
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT
KEPUTIH DENGAN METODE *LIFE CYCLE
ASSESSMENT (LCA)***

**ELVIN NUR NADHIFATIN
03211540000017**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



FINAL PROJECT - RE 184804

**ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACT
CONTRIBUTION DUE TO FAECAL SLUDGE
TREATMENT PROCESS AT IPLT KEPUTIH USING
LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

**ELVIN NUR NADHIFATIN
0321154000017**

**SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**

**DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Environmental and Earth
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Kontribusi Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih Dengan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ELVIN NUR NADHIFATIN

NRP 03211540000017

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

NIP. 19550128 198503 2 001



ANALISIS KONTRIBUSI DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

Nama : Elvin Nur Nadhifatin
NRP : 03211540000017
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem,
M.Sc

ABSTRAK

Pelepasan limbah yang melebihi baku mutu ke lingkungan akan menimbulkan berbagai jenis penyakit sehingga perlu dilakukan perbaikan dalam pelayanan sanitasi. Semakin banyak limbah yang dihasilkan maka semakin besar pula masa kontaminasi dan nutrisi yang harus disisihkan. Limbah tinja sebelum diolah masih mengandung kadar BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta *Escherichia coli* yang masih tinggi. Lumpur tinja jika tidak diolah dengan benar dapat menimbulkan kontaminasi yang berpotensi mencemari badan air apabila dilepas langsung ke lingkungan. Perlunya pengurangan dan pencegahan paparan polutan ke tubuh manusia dan pencemaran media lingkungan (tanah, air, udara). Penelitian ini bertujuan menentukan dampak proses pengolahan lumpur tinja dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) dan menentukan cara mengurangi dampak dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA).

Life cycle assessment (LCA) digunakan untuk melakukan penilaian dampak lingkungan dengan metode *Impact 2002+*. Data setiap siklus proses pengolahan dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. LCA adalah sebuah mekanisme untuk menganalisis dan memperhitungkan dampak lingkungan total dari suatu produk dalam setiap tahapan daur hidupnya. Tahapan *life cycle assessment* (LCA), yaitu *goal* dan *scope*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA), *interpretation data*. Kemudian dilakukan pemilihan alternatif yang optimum dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP). Metode AHP terdiri dari penyusunan permasalahan secara hirarki, menetapkan prioritas, dan mengukur konsistensi logis

menggunakan aplikasi *expert choice* (EC). Aplikasi *expert choice* terdiri dari penetapan prioritas dan nilai prioritasnya.

Hasil dari masing-masing proses pengolahan berbeda-beda. Kontribusi dampak dari analisis LCA pada proses pengolahan lumpur tinja adalah *global warming* sebesar 15947,848 kg CO₂/tahun, diikuti oleh *non renewable energy* sebesar 103431 MJ dan *aquatic eutrophication* 0,003409 PDF-m².y. Setelah diketahui dampak lingkungan dilakukan analisis alternatif. Analisis alternatif digunakan sebagai dasar dalam penentuan prioritas cara mengurangi kontribusi dampak dalam proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Alternatif terpilih yang digunakan untuk mengurangi kontribusi dampak adalah melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal dengan nilai sebesar 48,1%.

Kata Kunci: AHP, Dampak lingkungan, IPLT Keputih, *Life Cycle Assessment* (LCA), SimaPro 8.5

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACT CONTRIBUTION DUE TO FAECAL SLUDGE TREATMENT PROCESS AT IPLT KEPUTIH USING LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Name : Elvin Nur Nadifatin
ID Number : 03211540000017
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

ABSTRACT

Disposal of waste that exceeds quality standards into the environment will cause various types of diseases so that improvements need to be made in sanitation services. The more waste produced, the greater the amount of contaminants and nutrients that must be set aside. Faecal sludge before processing still contains levels of BOD, COD, TSS, pH, oil and grease, and *Escherichia coli* which is still high. Feces if not treated properly can cause contamination that has the potential to contaminate water bodies when released directly into the environment. The need for reduction and prevention of exposure to pollutants into the human body and pollution of environmental media (soil, water, air). This study aims to determine the impact of sludge treatment processes using the life cycle assessment (LCA) approach and determine how to reduce impacts with the life cycle assessment (LCA) approach.

Life cycle assessment (LCA) was used to conduct an environmental impact assessment with the Impact 2002+ method. Data for each cycle of the processing process was analyzed using SimaPro 8.5 software. LCA is a mechanism for analyzing and calculating the total environmental impact of a product in each stage of its life cycle. Stages of life cycle assessment (LCA), namely goals and scope, life cycle inventory (LCI), life cycle impact assessment (LCIA), data interpretation. Then the optimum alternative selection is done by using the analytical hierarchy process (AHP) method. The AHP method consists of structuring problems in a hierarchy manner, setting priorities, and measuring logical consistency using the application expert choice (EC). The

expert choice application consists of setting priorities and priority values.

The results of each treatment process various. The contribution impact of the LCA analysis on the treatment process of sludge is global warming of 15947.848 kg CO₂/year, followed by non renewable energy of 103431 MJ and aquatic eutrophication 0.003409 PDF-m².y. After finding out the environmental impact is carried out an alternative analysis. Alternative analysis is used as a basis in determining the priority of ways to reduce the contribution of impacts in the treatment process of sludge in Keputih IPLT. The chosen alternative used to reduce the impact contribution is doing to maintenance of scheduled processing equipment with a respondent value of 48.1%.

Keywords: AHP, Environmental impact, IPLT Keputih, Life Cycle Assessment (LCA), SimaPro 8.5,

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya pada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Kontribusi Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)”**. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan dari mata kuliah “Tugas Akhir (TA)” yang mempunyai bobot 6 sks dan harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D. selaku kepala Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, saran dan kesabarannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini
3. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc. selaku koordinator Tugas Akhir, terima kasih atas segala ilmu dan saran yang telah diberikan
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs., Bapak Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E., Ph.D., dan Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc., selaku dosen pengarah
5. Bapak Heru, Bapak Achsin, Bapak Heri dan karyawan IPLT Keputih yang telah membantu, membimbing dan memfasilitasi penulis selama di IPLT
6. Orang Tua atas doa, bimbingan, motivasi dan materi yang selalu mendukung langkah penulis
7. Teman-teman angkatan 2015 yang selalu mendoakan dan mendukung penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas dukungan dan kerjasama yang diberikan

Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan.
Wassalamu'alaikum Wr Wb

Surabaya, Januari 2019
Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK..... | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Definisi Tinja | 5 |
| 2.2 Karakteristik Lumpur Tinja..... | 5 |
| 2.3 Baku Mutu Kualitas Lingkungan | 6 |
| 2.3.1 Parameter Kualitas Air..... | 6 |
| 2.3.2 Parameter Kualitas Udara | 9 |
| 2.4 Dampak Pengolahan Lumpur Tinja Terhadap Lingkungan..... | 9 |
| 2.4.1 <i>Global Warming</i> | 10 |
| 2.4.2 <i>Aquatic Eutrophication</i> | 11 |
| 2.4.3 <i>Non Renewable Energy</i> | 12 |
| 2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) | 13 |
| 2.6 Unit Pengolahan pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) | 13 |
| 2.6.1 Unit Pemisah Lumpur <i>Solid Separation Chamber</i> (SSC)..... | 16 |
| 2.6.2 Unit Ekualisasi (<i>Balancing Tank</i>)..... | 17 |
| 2.6.3 Unit Parit Oksidasi (<i>Oxidation Ditch</i>) | 18 |
| 2.6.4 Unit <i>Distribution Box</i> | 20 |
| 2.6.5 Unit Pengendap Akhir (<i>Final Clarifier</i>)..... | 20 |
| 2.6.6 Unit Kolam Pematangan (<i>Polishing Pond</i>)..... | 22 |
| 2.6.7 Unit Pengering Lumpur <i>Sludge Drying Bed</i> (SDB) | 23 |
| 2.6.8 Unit Pengering Lumpur <i>Drying Area</i> (DA) | 24 |
| 2.7 Metode <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)..... | 25 |
| 2.7.1 Prinsip <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)..... | 26 |

| | |
|--|----|
| 2.7.2 Karakteristik dan Batasan <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) | 27 |
| 2.8 Tahap-tahap dalam <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) | 27 |
| 2.8.1 Penentuan Tujuan dan Batasan Penelitian | 28 |
| 2.8.2 Inventarisasi Data | 29 |
| 2.8.3 Perkiraan Dampak | 30 |
| 2.8.4 Interpretasi Data | 35 |
| 2.9 Definisi <i>Software SimaPro</i> | 35 |
| 2.10 <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) | 38 |
| 2.11 Aplikasi <i>Expert Choice</i> Untuk Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) | 39 |
| 2.12 Penelitian Terdahulu | 40 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 45 |
| 3.1 Wilayah Penelitian | 45 |
| 3.2 Deskripsi Umum | 47 |
| 3.3 Kerangka Penelitian | 47 |
| 3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian | 50 |
| 3.4.1 Ide Penelitian | 50 |
| 3.4.2 Studi Literatur | 51 |
| 3.4.3 Penelitian Pendahuluan | 51 |
| 3.4.4 Pengumpulan Data | 54 |
| 3.4.5 Analisis Data dan Pembahasan | 55 |
| 3.5 Penginputan Data dalam <i>Software SimaPro 8.5</i> | 55 |
| 3.5.1 <i>Goal and Scope</i> | 55 |
| 3.5.2 <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI) | 56 |
| 3.5.3 <i>Life Cycle Impact Assessment</i> (LCIA) | 56 |
| 3.5.4 Interpretasi Data dalam <i>SimaPro 8.5</i> | 57 |
| 3.6 Penentuan Prioritas Alternatif dengan <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) menggunakan <i>Expert Choice</i> | 57 |
| 3.7 Kesimpulan dan Saran | 58 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 59 |
| 4.1 Pengumpulan Data Sekunder dan Data Primer | 59 |
| 4.1.1 Pengumpulan Data Sekunder | 59 |
| 4.1.2 Pengumpulan Data Primer | 60 |
| 4.2 Pengolahan <i>Life Cycle Assessment</i> dengan <i>Software SimaPro 8.5</i> | 84 |
| 4.3 Penentuan <i>Goal</i> dan <i>Scope</i> | 84 |
| 4.4 Penentuan <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI) | 87 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.1 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Solid Separation Chamber</i> | 88 |
| 4.4.2 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Balancing Tank</i> | 90 |
| 4.4.3 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Sump Well</i> | 92 |
| 4.4.4 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Oxidation Ditch</i> | 94 |
| 4.4.5 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Distribution Box I</i> | 96 |
| 4.4.6 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Clarifier</i> | 98 |
| 4.4.7 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Distribution Box II</i> | 99 |
| 4.4.8 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Polishing Pond</i> | 101 |
| 4.4.9 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Mixing Tank</i> | 103 |
| 4.4.10 <i>Life Cycle Inventory (LCI) pada Sludge Drying Bed</i> | 104 |
| 4.4.11 Hasil <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> Keseluruhan | 106 |
| 4.5 Penilaian Dampak atau <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> | 108 |
| 4.6 Penilaian Dampak Keseluruhan Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 119 |
| 4.6.1 Analisis Karakterisasi/ <i>Characterization</i> | 119 |
| 4.6.2 Analisis Normalisasi/ <i>Normalization</i> | 130 |
| 4.6.3 Analisis Pembobotan/ <i>Weighting</i> | 135 |
| 4.6.4 Analisis <i>Single Score</i> | 138 |
| 4.6.5 Tahap Interpretasi Data (<i>Interpretation Data</i>) | 139 |
| 4.7 Penentuan Prioritas Alternatif Perbaikan | 139 |
| 4.8 Pemilihan Alternatif Terbaik dengan Metode <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i> | 140 |
| 4.9 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i> | 140 |
| 4.10 Penyusunan Hirarki Alternatif | 141 |
| 4.11 Alternatif Terbaik pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 142 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 145 |
| 5.1 Kesimpulan | 145 |
| 5.2 Saran | 145 |
| DAFTAR PUSTAKA | 147 |
| BIOGRAFI PENULIS | 159 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Baku Mutu Kegiatan Domestik Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup..... | 6 |
| Tabel 2.2 Baku Mutu Kegiatan Domestik Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur | 6 |
| Tabel 2.3 Baku Mutu Udara Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur..... | 9 |
| Tabel 2.4 Metode pada <i>Software</i> SimaPro 8.5 | 28 |
| Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu Terkait Metode <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) | 40 |
| Tabel 3.1 Data Perusahaan Pengurasan dan Volume Pembuangan Tinja pada Mei 2018..... | 46 |
| Tabel 4.1 Debit Pengolahan Lumpur Tinja..... | 59 |
| Tabel 4.2 Jumlah Energi pada Proses Pengolahan | 59 |
| Tabel 4.3 Waktu Detensi Unit Pengolahan | 60 |
| Tabel 4.4 Hasil Analisis Laboratorium Lumpur Tinja (mg/L) | 61 |
| Tabel 4.5 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Solid Separation Chamber</i> | 89 |
| Tabel 4.6 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Balancing Tank</i> | 91 |
| Tabel 4.7 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Sump Well</i> | 93 |
| Tabel 4.8 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Oxidation Ditch</i> | 95 |
| Tabel 4.9 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Distribution Box I</i> | 97 |
| Tabel 4.10 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Clarifier</i> | 99 |
| Tabel 4.11 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Distribution Box II</i> .. | 100 |
| Tabel 4.12 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Polishing Pond</i> | 102 |
| Tabel 4.13 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Mixing Tank</i> | 104 |
| Tabel 4.14 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Sludge Drying Bed</i> .. | 106 |
| Tabel 4.15 <i>Impact Assessment Solid Separation Chamber</i> | 109 |
| Tabel 4.16 <i>Impact Assessment Balancing Tank</i> | 110 |
| Tabel 4.17 <i>Impact Assessment Sump Well</i> | 111 |
| Tabel 4.18 <i>Impact Assessment Oxidation Ditch</i> | 112 |
| Tabel 4.19 <i>Impact Assessment Distribution Box I</i> | 113 |
| Tabel 4.20 <i>Impact Assessment Clarifier</i> | 115 |
| Tabel 4.21 <i>Impact Assessment Distribution Box II</i> | 116 |
| Tabel 4.22 <i>Impact Assessment Polishing Pond</i> | 117 |
| Tabel 4.23 <i>Impact Assessment Mixing Tank</i> | 118 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4.24 <i>Impact Assessment Sludge Drying Bed</i> | 119 |
| Tabel 4.25 Faktor Kerusakan Karakterisasi | 125 |
| Tabel 4.26 Hasil <i>Characterization</i> Dampak Lingkungan | 130 |
| Tabel 4.27 Faktor Normalisasi..... | 131 |
| Tabel 4.28 Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan..... | 134 |
| Tabel 4.29 Hasil Pembobotan pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 135 |
| Tabel 4.30 Alternatif Untuk Mengurangi Dampak Lingkungan.. | 139 |
| Tabel 4.31 Pembobotan Pemilihan Kriteria Alternatif..... | 142 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|-----|
| Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pengolahan di IPLT Keputih .. | 15 |
| Gambar 2.2 Unit <i>Solid Separation Chamber</i> (SSC) | 17 |
| Gambar 2.3 Unit <i>Balancing Tank</i> | 18 |
| Gambar 2.4 Unit <i>Oxidation Ditch</i> | 19 |
| Gambar 2.5 Unit <i>Distribution Box</i> I dan II | 20 |
| Gambar 2.6 Unit <i>Clarifier</i> | 21 |
| Gambar 2.7 Unit <i>Polishing Pond</i> | 22 |
| Gambar 2.8 Unit <i>Sludge Drying Bed</i> (SDB) | 23 |
| Gambar 2.9 Unit <i>Drying Bed</i> (DA) | 24 |
| Gambar 2.10 Tahapan Penyusunan LCA | 28 |
| Gambar 2.11 Skema Keseluruhan Impact 2002+ | 30 |
| Gambar 3.1 Lokasi IPLT Keputih yang Menjadi Wilayah Penelitian | 45 |
| Gambar 3.2 Kerangka Penelitian | 50 |
| Gambar 4.1 Debit Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih..... | 81 |
| Gambar 4.2 <i>Mass Balance</i> Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT..... | 82 |
| Gambar 4.3 Penentuan <i>Goal</i> pada <i>Software</i> SimaPro 8.5 | 85 |
| Gambar 4.4 Penentuan <i>Scope</i> pada <i>Software</i> SimaPro 8.5..... | 87 |
| Gambar 4.5 <i>Material Balance</i> pada <i>Solid Separation Chamber</i> | 88 |
| Gambar 4.6 Input Data SimaPro <i>Solid Separation Chamber</i> | 90 |
| Gambar 4.7 <i>Material Balance</i> pada <i>Balancing Tank</i> | 90 |
| Gambar 4.8 Input Data SimaPro <i>Balancing Tank</i> | 92 |
| Gambar 4.9 <i>Material Balance</i> pada <i>Sump Well</i> | 92 |
| Gambar 4.10 Input Data SimaPro <i>Sump Well</i> | 94 |
| Gambar 4.11 <i>Material Balance</i> pada Unit <i>Oxidation Ditch</i> | 94 |
| Gambar 4.12 Input Data SimaPro Unit <i>Oxidation Ditch</i> | 96 |
| Gambar 4.13 <i>Material Balance</i> pada Unit <i>Distribution Box</i> I | 96 |
| Gambar 4.14 Input Data SimaPro Unit <i>Distribution Box</i> I | 97 |
| Gambar 4.15 <i>Material Balance</i> pada Unit <i>Clarifier</i> | 98 |
| Gambar 4.16 Input Data SimaPro Unit <i>Clarifier</i> | 99 |
| Gambar 4.17 <i>Material Balance</i> pada Unit <i>Distribution Box</i> II | 100 |
| Gambar 4.18 Input Data SimaPro Unit <i>Distribution Box</i> II | 101 |
| Gambar 4.19 <i>Material Balance</i> pada Unit <i>Polishing Pond</i> | 101 |
| Gambar 4.20 Input Data SimaPro Unit <i>Polishing Pond</i> | 103 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.21 <i>Material Balance</i> pada <i>Mixing Tank</i> | 103 |
| Gambar 4.22 Input Data SimaPro Unit <i>Mixing Tank</i> | 104 |
| Gambar 4.23 <i>Material Balance</i> pada <i>Sludge Drying Bed</i> | 105 |
| Gambar 4.24 Input Data SimaPro Unit <i>Sludge Drying Bed</i> | 105 |
| Gambar 4.25 <i>Network</i> Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT | 107 |
| Gambar 4.26 <i>Network</i> Unit <i>Solid Separation Chamber</i> | 109 |
| Gambar 4.27 <i>Network</i> Unit <i>Balancing Tank</i> | 110 |
| Gambar 4.28 <i>Network</i> Unit <i>Sump Well</i> | 111 |
| Gambar 4.29 <i>Network</i> Unit <i>Oxidation Ditch</i> | 112 |
| Gambar 4.30 <i>Network</i> Unit <i>Distribution Box I</i> | 113 |
| Gambar 4.31 <i>Network</i> Unit <i>Clarifier</i> | 114 |
| Gambar 4.32 <i>Network</i> Unit <i>Distribution Box II</i> | 115 |
| Gambar 4.33 <i>Network</i> Unit <i>Polishing Pond</i> | 116 |
| Gambar 4.34 <i>Network</i> Unit <i>Mixing Tank</i> | 117 |
| Gambar 4.35 <i>Network</i> Unit <i>Sludge Drying Bed</i> | 118 |
| Gambar 4.36 Diagram <i>Characterization Impact Assessment</i> IPLT Keputih | 120 |
| Gambar 4.37 Diagram <i>Normalization Impact Assessment</i> Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 131 |
| Gambar 4.38 Diagram <i>Weighting</i> pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 137 |
| Gambar 4.39 Diagram <i>Single Score</i> pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 138 |
| Gambar 4.40 Hirarki Proses Pengolahan Lumpur Tinja..... | 141 |
| Gambar 4.41 Penentuan Kriteria Terpilih | 143 |
| Gambar 4.42 Penentuan Alternatif Terpilih | 143 |
| Gambar 4.43 Diagram <i>Dynamic</i> Kriteria dan Alternatif Proses Pengolahan Lumpur Tinja | 143 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|------|
| Lampiran 1.1 Penentuan Prioritas Alternatif..... | xvii |
| Lampiran 1.2 Grafik Volume dan Sumber Tinja IPLT Keputih ... | xxi |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tercemarnya lingkungan akan menimbulkan berbagai macam penyakit, sehingga perlu dilakukan perbaikan dalam pelayanan sanitasi kota. Semakin besar kapasitas layanan IPAL, semakin besar pula masa kontaminan dan nutrisi yang harus disisihkan (Nuraeni dan Ashuri, 2018). Lumpur tinja jika tidak diolah dengan benar dapat menimbulkan kontaminasi yang berpotensi mencemari badan air apabila dilepas langsung ke lingkungan. Perlunya pengurangan dan pencegahan paparan polutan ke tubuh manusia dan pencemaran media lingkungan (tanah, air, udara). Mikroorganisme mendegradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa organik sederhana dan mengkonversikannya menjadi gas karbondioksida (CO_2), air (H_2O) dan energi untuk pertumbuhan dan reproduksinya (Firdus dan Muchlisin, 2010).

Pada proses pengolahan secara fisik dan biologis dibutuhkan energi listrik untuk penggunaan mesin dan pompa. Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang pengoperasian (Singh dan Kansal, 2018). Sektor limbah (limbah padat dan limbah cair) turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca ke atmosfer antara 3-4% (IPCC, 2006). Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) mengemisikan gas rumah kaca dalam jumlah yang cukup signifikan dalam bentuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, and Lee, 2014). Secara tidak langsung, industri pengolahan limbah bertanggung jawab atas dampak lingkungan yang terjadi secara global seperti pelepasan langsung polutan ke dalam air bila nilai effluen melebihi baku mutu, pada tanah yang terkontaminasi rembesan dari limbah, dan udara hasil dari proses degradasi bahan organik dan anorganik lain secara signifikan (Bonton et al, 2012).

Dengan kondisi yang ada, diharapkan IPLT semakin memperhatikan aspek lingkungan dalam setiap kegiatannya, selain adanya regulasi yang mencakup persoalan teknis. Analisis yang tepat terhadap IPLT Keputih diperlukan mengenai dampak

lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan pengolahan tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis proses menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA). LCA adalah alat atau metode untuk menganalisis beban lingkungan disemua tahapan dalam siklus hidup dari produk dimulai dari ekstraksi sumber daya, proses produksi, produk itu sendiri, dan penggunaan produk sampai produk itu dibuang (baik oleh penggunaan kembali, daur ulang atau pembuangan akhir) dengan kata lain *cradle to grave* (Bruijn dkk, 2002). LCA dikembangkan salah satunya adalah untuk mengkaji dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pabrik dan proses produksi (Haas, 2000). Pada pelaksanaannya digunakan *software* SimaPro 8.5 sebagai perangkat atau *tools* untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca, audit energi dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumber daya berupa tanah, air, energi dan sumber daya alam lainnya.

Dibutuhkan suatu analisis penentuan alternatif terbaik dengan memberikan solusi pada permasalahan tersebut. Metode analisis yang digunakan untuk melakukan pemilihan solusi yang terbaik adalah metode *analytical hierarchy process* (AHP) dengan aplikasi *expert choice*. AHP menggabungkan pertimbangan dan penilaian pribadi dengan cara yang logis dan dipengaruhi imajinasi, pengalaman, dan pengetahuan untuk menyusun hierarki dari suatu masalah yang berdasarkan logika, intuisi dan juga pengalaman untuk memberikan pertimbangan (Tominanto, 2012). *Expert choice* menawarkan beberapa fasilitas mulai dari input data-data kriteria, beberapa alternatif pilihan, sampai dengan penentuan tujuan (Retnoningsih, 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Apakah kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA)?
2. Bagaimana cara mengurangi kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA)
2. Menentukan cara mengurangi kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA)

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian adalah IPLT Keputih Surabaya
2. Parameter kualitas lumpur tinja yang dianalisis yaitu BOD, COD, TSS, Minyak Lemak, pH, N dan P.
3. Beban pengolahan yang digunakan adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable*
4. Pengambilan sampel effluen dilakukan pada unit pengolahan yaitu *solid separation chamber* (SSC), *balancing tank* (BT), *sump well*, *oxidation ditch* (OD), *final clarifier* (CF) dan *polishing pond* (PP)
5. Data yang digunakan berupa data primer didapatkan dari hasil analisis laboratorium, perhitungan beban organik *biodegradable* dan kuisioner. Data sekunder didapatkan dari pihak IPLT Keputih meliputi debit pengolahan, parameter effluen, jumlah penggunaan energi untuk kegiatan pengolahan
6. Menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA) dengan *software* SimaPro 8.5 dengan metode *Impact 2002+*
7. Dampak yang dipilih adalah *global warming*, *non renewable energy* dan *aquatic eutrophication*
8. Penentuan prioritas alternatif berdasarkan analisis dan saran dari responden yaitu pengelola IPLT dengan jenjang minimal D3 dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP) menggunakan *expert choice* (EC)
9. Penelitian skala laboratorium dan skala lapangan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pengolahan lumpur tinja
2. Memberikan solusi berupa alternatif dalam mengurangi kontribusi dampak lingkungan dari hasil analisis *life cycle assessment* (LCA)
3. Sebagai bahan evaluasi pengelola IPLT dalam menganalisis aktivitas proses pengolahan lumpur tinja yang ramah lingkungan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tinja

Tinja berasal dari sisa metabolisme tubuh manusia yang harus dikeluarkan agar tidak meracuni tubuh. Keluaran berupa feses bersama urin biasanya dibuang ke dalam tangki septik. Lumpur tinja (*night soil*) yang telah memenuhi tangki septik dapat dibawa ke instalasi pengolahan lumpur tinja. Komposisi dan volume lumpur tangki septik tergantung dari faktor iklim dan kesehatan manusia (Richard, 1989).

Limbah tinja merupakan hasil buangan manusia yang akan terus bertambah jumlahnya seiring dengan pertumbuhan penduduk. Limbah tinja jika tidak diolah dengan baik dapat menjadi permasalahan lingkungan karena buangan tersebut merupakan beban dengan kadar organik dan toksisitas yang tinggi bagi lingkungan (Lestari dan Yudihanto, 2013).

2.2 Karakteristik Lumpur Tinja

Lumpur tinja (*septage*) adalah kumpulan lumpur, busa, cairan yang disedot dari sistem pengolahan secara *on-site individual*, yang didapat selama proses pengosongan lumpur tinja. Lumpur tinja mengandung makronutrien, mikronutrien, polutan organik, mikroorganisme, dan telur dari parasit yang berbeda. Lumpur tinja berupa endapan lumpur yang terdapat dalam tangki septik. Lumpur tinja biasanya ditandai dengan kandungan pasir dan lemak dalam jumlah besar, bau yang menusuk, mudah terbentuk busa ketika pengadukan, sulit mengendap, serta kandungan zat padat dan zat organiknya tinggi. Lumpur tinja mempunyai nutrisi dalam konsentrasi yang cukup tinggi dibandingkan dengan yang terdapat dalam kandungan air limbah (Lestari dan Yudihanto, 2013).

Lumpur tinja adalah seluruh isi tangki septik, cubluk tunggal atau endapan lumpur dari underflow unit pengolahan air limbah lainnya, yang pembersihannya dilakukan dengan mobil. Lumpur tinja (*septage*) adalah kumpulan lumpur, busa, cairan yang disedot dari sistem pengolahan secara *on site individual*, yang didapat selama proses pengosongan lumpur tinja (Metcalf dan Eddy, 1991).

Karakteristik lumpur tinja dari satu tangki berbeda dengan tangki lainnya. Hal ini tergantung dari beberapa faktor, diantaranya, sebagian dari limbah rumah tangga mengalir masuk ke tangki septik, jumlah pengguna tangki septik dan frekuensi penyedotan lumpur tinja.

2.3 Baku Mutu Kualitas Lingkungan

2.3.1 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air limbah digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran yang terjadi pada lingkungan. Berikut standar baku mutu kegiatan domestik dapat dilihat pada Tabel 2.1 berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Tabel 2.2 berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur.

Tabel 2.1 Baku Mutu Kegiatan Domestik Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup

| Parameter | Satuan | Kadar Paling Tinggi |
|-------------------------|--------|---------------------|
| BOD₅ | mg/L | 100 |
| TSS | mg/L | 100 |
| PH | - | 6-9 |
| Minyak dan Lemak | mg/L | 10 |

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2014

Tabel 2.2 Baku Mutu Kegiatan Domestik Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur

| Parameter | Satuan | Kadar Maksimum |
|-------------------------|--------|----------------|
| BOD₅ | mg/L | 30 |
| COD | mg/L | 50 |
| TSS | mg/L | 50 |
| Minyak dan Lemak | mg/L | 10 |
| PH | - | 6-9 |

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2013

2.3.1.1 Parameter Fisik

Total Suspended Solid (TSS) adalah semua zat padat (pasir, lumpur, dan tanah liat) atau partikel yang tersuspensi

dalam air dan dapat berupa komponen hidup (biotik) seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel-partikel anorganik (Tarigan dan Edwar, 2003).

2.3.1.2 Parameter Kimia

a. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses biologis yang terjadi didalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Penentuan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan domestik atau industri (Gunawan, 2006). Dasar uji BOD adalah kemampuan metabolik mikroorganisme yang ditambahkan sebagai agen pendegradasi. Semakin tinggi BOD, maka semakin banyak bahan organik yang terkandung dalam air.

b. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. COD merupakan uji yang dilakukan untuk menentukan kandungan senyawa organik *biodegradable* atau mudah terurai dan non *biodegradable* atau tidak mudah terurai (Kumar dkk, 2010). Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimia dengan menggunakan dikromat dalam media asam (Metcalf dan Eddy, 2003).

c. pH

Derajat keasaman merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa sesuatu larutan. pH merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kehidupan mikroorganisme dalam air (Sutrisno dan Suciastuti, 2002). pH yang cocok sangat mempengaruhi proses pengolahan limbah secara biologis. Umumnya mikroorganisme memerlukan pH antara 6,5 hingga 9. pH yang terlalu tinggi (>9) akan menghambat aktivitas mikroorganisme, sementara di bawah pH 6.5 akan menghasilkan pertumbuhan

jamur dan bakteri dalam persaingan dengan metabolisme bahan organik (Jonrizal, 2001).

d. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan salah satu senyawa yang menyebabkan terjadinya pencemaran di suatu perairan sehingga konsentrasinya harus dibatasi. Minyak mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Kondisi ini dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Minyak yang menutupi permukaan air juga akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu ketidakseimbangan rantai makanan. Minyak dan lemak merupakan bahan organik bersifat tetap dan sukar diuraikan bakteri (Andreozzi dkk, 2000; Atlas dkk, 1992).

e. Nitrat

Sebagian besar nitrogen yang ditemukan dalam air permukaan adalah hasil dari drainase tanah dan air limbah domestik. Air limbah domestik yang merupakan sumber utama nitrogen berasal dari air limbah feses, urin dan sisa makanan. Besarnya kontribusi per kapita berkisar antara 8-12 lb nitrogen/tahun. Nitrogen ini ditemukan dalam bentuk organik (40%) dan amonia (NH_4^+) sebesar 60% (Hammer, M.J. dan Viesman, W., 2005). Kadar nitrat perairan lebih dari 0,2 mg/L dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi yang dapat merangsang pertumbuhan fitoplankton dengan cepat atau *blooming* (Simanjuntak dan Kamlasi, 2012).

f. Fosfat

Fosfat organik terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan. Fosfat organik dapat pula terjadi melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap fosfat untuk pertumbuhannya (Winata, et al., 2000). Fosfat terlarut adalah salah satu bahan nutrisi yang menstimulasi pertumbuhan yang sangat luar biasa pada alga dan rumput-rumputan dalam danau dan sungai berair tenang. Fosfat yang berasal dari deterjen bersama-sama dengan nitrogen dan fosfat yang berasal dari bahan buangan domestik lainnya akan merangsang pertumbuhan tumbuhan air dan algae untuk berkembang secara pesat (Susana dan Suyarso, 2008).

2.3.1.3 Parameter Biologis

Bakteri patogen yang terdapat di dalam feses manusia diantaranya termasuk dalam familia *Enterobacteriaceae* (Triatmojo, 1993). *Coliform* juga merupakan bakteri yang selalu ada dalam pencernaan hewan dan manusia yang ditemukan dalam limbah. Bakteri yang termasuk dalam kelompok ini adalah *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* dan *Citrobacter*. *Escherichia coli* merupakan bakteri yang hanya ditemukan dan berasal dari feses hewan berdarah panas maupun manusia (Sutapa, 2006). Selain bakteri juga terdapat fungi dalam tangki septik. Fungi biasanya merupakan organisme saprofit, mereka memperoleh makanan dari degradasi bahan organik yang telah mati (Gerardi, 2006).

2.3.2 Parameter Kualitas Udara

Pencemaran udara adalah kondisi dimana kualitas udara buruk dan telah terkontaminasi oleh zat-zat yang berbahaya. Baku mutu udara adalah ukuran batas, energi dan kadar zat atau komponen yang ada keberadaannya didalam udara. Di Jawa Timur baku mutu udara untuk kegiatan industri diatur pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. IPLT tidak tercantum secara spesifik pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 sehingga untuk industri pengolahan lumpur tinja masuk kedalam industri kegiatan jenis lainnya.

Tabel 2.3 Baku Mutu Udara Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur

| No | Parameter | Nilai Baku Mutu |
|----|------------------------------------|--|
| 1. | Debu | 0,26 mg/ Nm ³ |
| 2. | Sulfur Dioksida (SO _x) | 0,1 ppm (262 µg/Nm ³) |
| 3. | Nitrogen Oksida (NO _x) | 0,05 ppm (92,5 µg/Nm ³) |
| 4. | Karbon Dioksida (CO) | 20,00 ppm (22,600 µg/Nm ³) |
| 5. | Hidrokarbon | 0,24 ppm (160 µg/Nm ³) |

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2009

2.4 Dampak Pengolahan Lumpur Tinja Terhadap Lingkungan

Limbah lumpur tinja jika tidak diolah dengan benar dapat menghasilkan kontaminan yang berpotensi mencemari badan air apabila dilepas langsung ke lingkungan dan belum memenuhi standar baku mutu air. Limbah tinja sebelum diolah masih

mengandung kadar BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta *Escherichia coli* yang masih tinggi (Moertinah, 2010).

Air limbah domestik 46,91% di Kota Batam dibuang ke saluran terbuka menuju ke saluran drainase, 28,96% dibuang ke saluran tertutup menuju tangki septik dan sisanya langsung menuju badan air (Joko dan Fitri, 2012). Pada tahun 2008 terjadi kasus penyakit karena pencemaran air (*water born disease*) sekitar 2,71% penduduk terjangkit penyakit diare dan 0,53% penderita diare adalah balita. Berdasarkan data Dinas Kesehatan Kota Batam, bahwa pada tahun 2010 terjadi peningkatan kasus diare sekitar 34,67% dari tahun sebelumnya.

Kontaminasi sumber daya air oleh polutan tinja karena pertumbuhan populasi menimbulkan risiko yang signifikan terhadap manusia dan masalah kualitas air (Reischer et al., 2008). Diperlukannya analisis dan manajemen risiko berdasarkan proses pengolahan dan parameter effluen yang diukur untuk mencegah paparan polutan termasuk bakteri patogen ke tubuh manusia dan mengurangi pencemaran media lingkungan (tanah, air, udara) (Pall et al., 2016).

2.4.1 Global Warming

Perubahan iklim dunia merupakan tantangan yang paling serius yang dihadapi pada abad 21. Sebagian besar pakar lingkungan sepakat bahwa terjadinya perubahan iklim merupakan salah satu dampak dari pemanasan global. Meskipun masih belum sepenuhnya dimengerti dengan pasti, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca terutama karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), perflorokarbon (PFC), hidroflorokarbon (HFC) dan sulfur heksafluorida (SF₆) di atmosfer bumi diyakini menjadi penyebab timbulnya pemanasan global.

Pemanasan global (*global warming*) menjadi salah satu isu lingkungan utama yang dihadapi dunia saat ini. Pemanasan global yaitu fenomena peningkatan temperatur global secara gradual yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK). Cahaya matahari dipancarkan ke bumi dalam bentuk radiasi gelombang pendek. Di permukaan bumi, cahaya diserap dan dipantulkan dalam wujud radiasi infra merah gelombang panjang. Cahaya yang dipantulkan kembali, sebagian panasnya terperangkap di atmosfer. Menumpuknya jumlah GRK di lapisan

atmosfer mengakibatkan panas akan tersimpan di permukaan bumi yang menyebabkan suhu rata-rata tahunan bumi meningkat (UNFCCC, 2006).

Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang pengoperasian (Singh dan Kansal, 2018). Instalasi pengolahan air limbah mengemisikan gas rumah kaca dalam jumlah yang cukup signifikan dalam bentuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, and Lee, 2014).

Pemanasan global ini bila tidak ditanggulangi diperkirakan pada tahun 2100 akan dapat meningkatkan suhu udara sebesar 1,4-5,8°C relatif terhadap suhu udara pada tahun 1990. Meningkatnya suhu udara ini akan dapat mengakibatkan adanya perubahan iklim yang sangat ekstrim di bumi. Hal ini ditandai dengan terganggunya ekosistem dan mencairnya gunung-gunung es di daerah kutub yang dapat menimbulkan naiknya permukaan air laut sebesar 9-88 cm pada tahun 2100 (Houghton et al., 2001).

2.4.2 Aquatic Eutrophication

Eutrofikasi adalah berlebihan nutrisi anorganik terutama senyawa N dan P sehingga memicu percepatan pertumbuhan tanaman dan umumnya terjadi karena adanya buangan pencemar organik ke perairan mengakibatkan gangguan pada keseimbangan organisme yang ada dan keadaan yang tidak diinginkan dapat memicu terjadinya ledakan populasi fitoplankton yang dapat berbahaya bagi organisme perairan (Abuka, 2012). Konsentrasi yang tinggi dari nutrisi dapat memicu proses eutrofikasi dan ledakan populasi fitoplankton (*blooming*). Peningkatan populasi fitoplankton secara berlebihan (*algae bloom*) dapat terjadi karena kondisi lingkungan perairan yang mendukung. Ledakan populasi fitoplankton yang diikuti dengan keberadaan beberapa jenis fitoplankton beracun akan menyebabkan ledakan populasi alga berbahaya (*harmful alga blooms*) (Mulyani dkk., 2012).

Peningkatan nutrisi yang berkelanjutan dalam konsentrasi yang tinggi pada akhirnya akan menyebabkan badan air menjadi sangat subur atau eutrofik dan menimbulkan gangguan (dampak

negatif) bagi badan air tersebut yakni terjadinya. Proses peningkatan kesuburan air yang berlebihan yang disebabkan oleh masuknya nutrisi dalam badan air, terutama fosfat inilah yang disebut eutrofikasi (Garno, 2012). Keberadaan fitoplankton HABs di perairan dipicu oleh beberapa faktor. Menurut Anderson et al., (2008), faktor yang dapat menyebabkan terjadinya blooming fitoplankton HABs salah satunya adalah eutrofikasi atau pengkayaan unsur hara. Nutrien yang dominan mengakibatkan eutrofikasi adalah nitrat dan fosfat. Kedua unsur ini juga berperan dalam perkembangan fitoplankton. Eutrofikasi merupakan permasalahan yang terus meningkat di dunia terutama disebabkan peningkatan kandungan nutrisi nitrogen dan fosfor dalam air limbah (Ahtiainen et al., 2014).

Pada konsentrasi yang optimum, unsur hara N dan P menguntungkan bagi pertumbuhan fitoplankton yang merupakan makanan ikan sehingga dapat meningkatkan produksi ikan di waduk. Namun ketika konsentrasi unsur-unsur tersebut tinggi terjadi pertumbuhan fitoplankton yang berlebih (*blooming*) atau eutrofikasi. Apabila sudah parah, kualitas air akan menurun, air berubah menjadi keruh, oksigen terlarut rendah, timbul gas-gas beracun dan bahan beracun (Sugiura et al., 2004).

2.4.3 Non Renewable Energy

Sektor energi merupakan sektor yang penting di Indonesia karena selain sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi dalam negeri juga sebagai komoditi ekspor, tetapi pertumbuhan perekonomian ini juga dapat membawa dampak yang negatif bagi sumber daya alam seperti air, udara, dan tanah. Dampak negatif tersebut dapat berupa pencemaran sebagai akibat dari penggunaan energi. Penggunaan energi dapat mencemarkan lingkungan karena adanya limbah padat, limbah cair, dan polutan akibat emisi dari pembakaran energi fosil seperti: partikel, SO₂, NO_x, dan CO₂ (Sugiyono, 2002).

Lean dan Smyth (2009) yang menjelaskan bahwa satu persen kenaikan pada konsumsi listrik per kapita dapat mempengaruhi peningkatan emisi karbon (CO₂) per kapita. Zhu dan Peng (2012) dalam penelitiannya juga mendapatkan hasil bahwa perubahan pada tingkat konsumsi dan struktur populasi

penduduk merupakan faktor pengaruh utama terhadap jumlah intensitas emisi karbon.

Semua bahan bakar fosil akan menghasilkan karbon. Ketika bahan bakar tersebut mengalami pembakaran, karbon lepas ke atmosfer sebagai karbon dioksida (CO_2). Karbon dioksida adalah salah satu jenis emisi gas rumah kaca, yang merupakan kontributor terhadap sesuatu yang dikenal dengan pemanasan global atau lebih tepatnya perubahan iklim (Tietenberg dan Lewis, 2011).

Kadar CO_2 saat ini disebut sebagai yang tertinggi selama 125,000 tahun belakangan. Bila ilmuwan masih memperdebatkan besarnya cadangan minyak yang masih bisa dieksplorasi, efek buruk CO_2 terhadap pemanasan global telah disepakati hampir oleh semua kalangan. Hal ini menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi (Lubis, 2007).

2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Kota Surabaya memiliki visi sanitasi untuk terwujudnya pelayanan sanitasi bagi masyarakat kota Surabaya yang handal, tepat guna, dan ramah lingkungan melalui penyediaan sistem sanitasi pengolahan limbah domestik yang memadai. Salah satu sistem sanitasi pengolahan adalah sistem sanitasi terpusat (*off site system*) (Herumurti dan Dian, 2016).

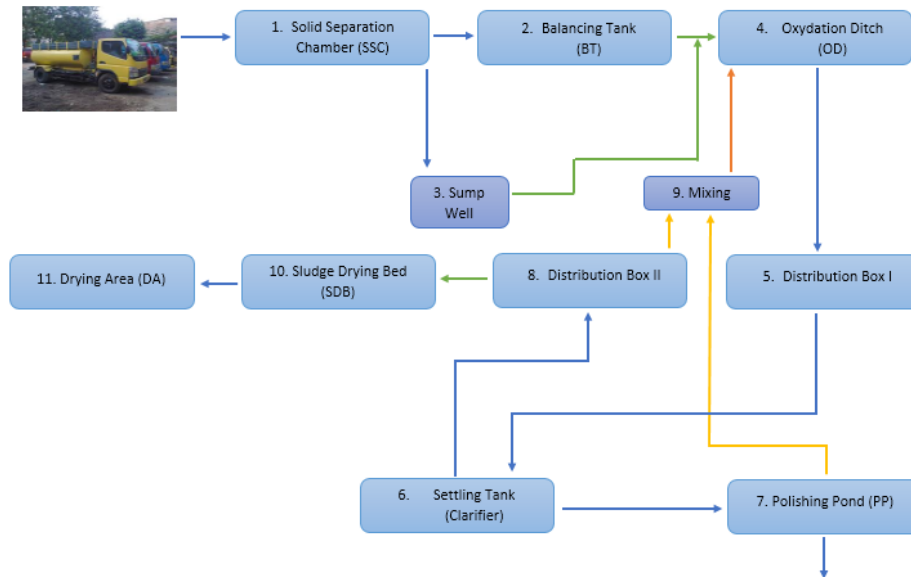
Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) adalah instalasi pengolahan air limbah yang dirancang hanya menerima dan mengolah lumpur tinja yang akan diangkut melalui mobil (truk tinja). Pengolahan lumpur tinja di IPLT merupakan pengolahan lanjutan karena lumpur tinja yang telah diolah di tangki septik, belum layak dibuang di media lingkungan (Oktarina dan Haki, 2013). Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) adalah unsur/komponen sistem pengelolaan air limbah rumah tangga yang dibangun di daerah perkotaan dan berfungsi mengolah lumpur tinja (*faecal sludge*) yang berasal dari tangki septik, sehingga hasil olahannya tidak mencemari lingkungan (Prayudi, 2013).

2.6 Unit Pengolahan pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Kota Surabaya adalah salah satu kota yang telah mempunyai sistem sanitasi terpusat tersebut, yaitu IPLT yang

terdapat di Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo (Herumurti dan Dian, 2016). Proses pengolahan pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih dibagi dalam 3 tahap, yaitu (Herumurti dan Dian, 2016):

- a. Tahap pengolahan fisik yang terdiri dari :
 - *Solid Separation Chamber* (SSC)
 - *Balancing Tank* (BT)
 - *Distribution Box I* (DB I)
 - *Distribution Box II* (DB II)
- b. Tahap pengolahan biologis yang terdiri dari :
 - *Oxidation Ditch* (OD)
 - *Final Clarifier* (FC)
 - *Polishing Pond* (PP)
- c. Tahap pengolahan lumpur yang terdiri dari :
 - *Sludge Drying Bed* (SDB)
 - *Drying Area* (DA)



Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pengolahan di IPLT Keputih

Keterangan gambar :

- Dialirkan secara gravitasi
- Diresirkulasi secara gravitasi
- Dialirkan atau dibuang dengan pompa
- Diresirkulasikan dengan pompa

Bangunan pengolahan lumpur tinja merupakan serangkaian unit proses (fisik, kimia, dan biologi tertentu) untuk mengolah lumpur tinja menjadi lumpur yang memenuhi baku mutu yang berlaku. Pengolahan lumpur tinja dilakukan dengan tujuan utama, yaitu:

1. Menurunkan kandungan zat organik dari dalam lumpur tinja
2. Menghilangkan, menurunkan kandungan mikroorganisme patogen (bakteri, virus, jamur, dan lain sebagainya) (Oktarina dan Haki, 2013)

2.6.1 Unit Pemisah Lumpur *Solid Separation Chamber* (SSC)

Solid Separation Chamber (SSC) merupakan unit pengolahan fisik, dimana tempat truk tinja membuang lumpur tinjanya. Unit ini berfungsi untuk memisahkan kandungan padatan (*solid*) yang sangat tinggi pada lumpur tinja dengan air (*supernatan*), sehingga beban pengolahan yang akan diterima oleh *oxidation ditch* menjadi lebih berkurang. Pada awal masuk, lumpur tinja akan mengalami proses penyaringan oleh *barscreen* yang kemudian terjadi proses filtrasi oleh pasir dan kerikil, dan proses pengendapan di dasar unit SSC. Secara umum ada 3 proses yang terjadi pada unit SSC, yaitu :

a. Proses Filtrasi

Partikel-partikel dengan diameter yang lebih besar dari pori-pori media akan tertahan pada permukaan media. Adanya pengaruh proses pengendapan membuat partikel-partikel tersuspensi akan melewati media penyaring dan terperangkap pada media, sedangkan sebagian lolos menuju bak pengumpul filtrat.

b. Proses Dekantasi

Proses dekantasi atau pengambilan supernatan (*drain supernatant*) berlangsung jika volume lumpur sudah hampir penuh atau karena proses penyaringan sudah berhenti, dimana terjadi pengendapan di atas lapisan media

sehingga akan terpisah antara lapisan padatan dengan cairan. Pengambilan supernatan dilakukan dengan mengalirkan supernatan melalui *gutter* atau pelimpah.

c. Proses Pengeringan atau Evaporasi

Setelah SSC terisi sampai batas penuh dan proses dekantasi sudah terhenti maka penambahan lumpur baru dihentikan, dan dimulai proses pengeringan atau sebagai akibat pemanasan sinar matahari (Jonrizal, 2001).

Solid separation chamber pada IPLT Keputih terdiri dari 4 unit dapat dilihat pada Gambar 2.2, dengan dimensi unit sebagai berikut:

- Panjang : 18 m
- Lebar : 8 m
- Tinggi : 2,75 m



Gambar 2.2 Unit *Solid Separation Chamber* (SSC)

Effluen hasil dari SSC berupa supernatan akan mengalir melalui pintu *gutter* menuju unit ekualisasi secara gravitasi, filtrat yang masuk melalui pipa underdrain di dasar unit SSC akan mengalir menuju *sump well* secara gravitasi, dan lumpur yang dikuras menggunakan *crane* akan dibawa menggunakan *dump truck* untuk dibuang ke unit *drying area*.

2.6.2 Unit Ekualisasi (*Balancing Tank*)

Prinsip kerja proses ekualisasi adalah bahwa unit ekualisasi merupakan tempat menampung sementara variasi debit dengan variasi beban lumpur tinja dan dilakukan proses *mixing* untuk mendapatkan beban lumpur yang konstan atau

seragam. Pada prinsipnya, aplikasi dari proses ekualisasi adalah sebagai berikut :

- Pada saat musim kering, berfungsi untuk mereduksi debit dan beban puncak lumpur tinja
- Pada saat musim hujan, berfungsi untuk mengantisipasi peningkatan debit akibat infiltrasi dan *inflow*

Pembangunan unit ekualisasi tergantung pada sistem IPLT yang akan dibuat, yaitu tipe pengolahan, karakteristik dari lumpur tinja, dan sistem pengalirannya. Tujuan dari pembangunan unit ekualisasi adalah untuk mengatasi beberapa masalah, yaitu mengatasi terjadinya variasi aliran atau debit dan beban lumpur selama operasi, meningkatkan kinerja proses yang terdapat pada bagian hilir Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja IPLT, mengurangi ukuran fisik bangunan pengolahan. Balancing tank pada IPLT Keputih terdiri dari 2 unit dapat dilihat pada Gambar 2.3, dengan dimensi sebagai berikut:

- Panjang : 18 m
- Lebar : 6 m
- Kedalaman : 2,5 m



Gambar 2.3 Unit *Balancing Tank*

Effluen hasil unit ekualisasi berupa lumpur yang dipompakan menuju unit *oxidation ditch*.

2.6.3 Unit Parit Oksidasi (*Oxidation Ditch*)

Oxidation Ditch (OD) merupakan modifikasi dari proses *activated sludge*, dimana penanganan dan pengolahan *sludge* hampir dapat diabaikan karena bagian *sludgenya* hanya sedikit

dan dapat dikeringkan tanpa menimbulkan bau. Aliran lumpur pada unit ini berasal dari *balancing tank* dan filtrat yang berasal dari unit *solid separation chamber* dan *sludge drying bed* pada *sump well* yang dipompakan menuju unit parit oksidasi. Proses yang terjadi pada unit ini adalah proses biologis secara aerobik dan anoksik.

Proses biologis secara aerobik adalah proses pengolahan lumpur tinja dengan memanfaatkan mikroorganisme dalam mendekomposisi lumpur dengan bantuan oksigen yang disuplai oleh mamot rotor yang memiliki ukuran besar. Fungsi dari mamot rotor adalah untuk mengaduk dan mendorong lumpur di *oxidation ditch* sehingga lumpur dapat mengalir dalam parit oksidasi. Zona anoksik terjadi saat lumpur tinja mengelilingi unit parit oksidasi. OD pada IPLT Keputih terdiri dari 4 unit dapat dilihat pada Gambar 2.4, dengan dimensi sebagai berikut:

- Panjang total : 60,2 m
- Lebar permukaan : 4 m
- Tinggi permukaan : 1,85 m



Gambar 2.4 Unit *Oxidation Ditch*

Parit oksidasi mampu mencapai penghilangan *biological oxygen demand* (BOD) karbon dan denitrifikasi secara bersamaan oleh penyediaan zona anoksik dalam reaktor. Pada desain operasi, tingkat pengadukan harus lebih dari cukup dan dalam keadaan diaerasi, untuk menjaga biomassa tersuspensi dan menyisihkan BOD dan nitrifikasi. Effluen hasil unit parit

oksidasi berupa lumpur yang mengalir secara gravitasi menuju unit *distribution box* I.

2.6.4 Unit *Distribution Box*

Distribution box pada IPLT Keputih dibagi 2, yaitu *distribution box* I dan II. *Distribution box* pada IPLT Keputih terdiri dari 2 unit dapat dilihat pada Gambar 2.5, yaitu unit *distribution box* I dan II dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 2.5 Unit *Distribution Box* I dan II

- Panjang : 18 m
- Lebar : 8 m
- Tinggi : 2,75 m

Dan 2 unit *distribution box* II, dengan dimensi sebagai berikut :

- Panjang : 18 m
- Lebar : 8 m
- Tinggi : 2,75 m

Distribution box I berfungsi mengumpulkan lumpur dari unit oxidation ditch secara gravitasi dan mendistribusikan lumpur secara merata menuju unit *final clarifier*. *Distribution box* II berfungsi mengumpulkan lumpur dari unit *final clarifier* secara gravitasi, mendistribusikan lumpur secara merata menuju unit *sludge drying bed* dan diresirkulasi kembali menuju *oxidation ditch* menggunakan pompa.

2.6.5 Unit Pengendap Akhir (*Final Clarifier*)

Unit *final clarifier* merupakan unit pengolahan biologis dimana proses yang terjadi adalah proses fisik yaitu

pengendapan (sedimentasi) dari partikel-partikel *solid*. Prinsip operasi yang berlangsung di dalam *final clarifier* adalah pemisahan dari suatu suspensi ke dalam fase padat (*sludge*) dan cair dari komponen-komponennya. Operasi ini dipakai ketika cairan yang mengandung zat padat ditempatkan dalam suatu bak tenang dengan desain tertentu sehingga akan terjadi pengendapan secara gravitasi. *Final clarifier* pada IPLT Keputih terdiri dari 2 unit dapat dilihat pada Gambar 2.6, dengan dimensi sebagai berikut:

- Diameter : 6 m
- Kedalaman : 2,45 m



Gambar 2.6 Unit *Clarifier*

Tujuan utama dari unit *clarifier* adalah untuk memisahkan lumpur aktif (*activated sludge*) dari supernatan ataupun untuk mengendapkan flok-flok yang terbentuk akibat penguraian bahan organik oleh mikroorganisme pada pengolahan biologis. Lumpur yang mengandung bakteri yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke *activated sludge* dan juga dialirkan ke unit pengolahan lumpur (Metcalf dan Eddy, 2003).

Unit pengendapan akhir terdiri dari tiga zona, yaitu inlet, pengendapan lumpur, dan zona outlet. Zona inlet dihubungkan dengan pipa dari outlet dari *activated sludge*. Pada bagian dasar bak dibuat miring, agar lumpur yang sudah mengendap dapat dikumpulkan ke ruang lumpur melalui bantuan *scraper*. Ruang lumpur pada pengendapan akhir berbentuk *circular* terletak pada bagian tengah bak. Lumpur yang terkumpul pada ruang lumpur

akan dipompa dengan pompa lumpur, sedangkan supernatan akan keluar melalui sistem pelimpah dan akan mengalami proses selanjutnya (Metcalf dan Eddy, 2003).

Effluen hasil unit *final clarifier* berupa supernatan yang mengalir melalui *v-notch weir* menuju unit *polishing pond* secara gravitasi dan lumpur yang mengalir menuju *distribution box* II secara gravitasi.

2.6.6 Unit Kolam Pematangan (*Polishing Pond*)

Unit *polishing pond* merupakan unit pengolahan biologis dimana proses yang terjadi adalah proses penjernihan air sehingga kualitas air yang dikeluarkan dapat lebih baik dan higienis. *Polishing pond* pada IPLT Keputih terdiri dari 1 unit dapat dilihat pada Gambar 2.7, dengan dimensi sebagai berikut:

- Panjang : 15,4 m
- Lebar : 6,1 m
- Tinggi : 2,5 m



Gambar 2.7 Unit *Polishing Pond*

Umumnya, kedalaman polishing pond sebesar 5 sampai 10 feet. Kedalaman yang lebih besar, dapat menurunkan kemampuan ganggang untuk tumbuh.

Tujuan utama dari *polishing pond* adalah untuk menghilangkan nutrien (nitrogen dan fosfor). *Polishing pond* dirancang untuk meningkatkan kompatibilitas lingkungan dan kualitas effluen dari pengolahan sebelumnya dimana effluen menjadi lebih higienis sebelum dibuang ke badan air. *Polishing pond* bertindak sebagai tahap akhir dalam memenuhi standar

peraturan hukum lingkungan yang diterapkan oleh pemerintah. Effluen hasil unit *polishing pond* berupa air bersih. Sebagian air bersih dalam unit *polishing pond* akan diresirkulasi ke unit *oxidation ditch* sebagai air pengencer dengan bantuan pompa *submersible* dan sebagian lagi akan dibuang menuju badan air.

2.6.7 Unit Pengering Lumpur *Sludge Drying Bed* (SDB)

Sludge drying bed (SDB) merupakan unit pengolahan lumpur. *Sludge drying bed* adalah *natural dewatering* dengan memanfaatkan tenaga sinar matahari. *Dewatering* merupakan metode untuk mengurangi kadar air dalam lumpur. Lumpur buangan dipompakan menuju ke SDB untuk dikeringkan. SDB pada IPLT Keputih terdiri dari 24 unit dapat dilihat pada Gambar 2.8, dengan dimensi sebagai berikut:

- Panjang : 34 m
- Lebar : 25 m
- Tinggi : 0,9 m



Gambar 2.8 Unit *Sludge Drying Bed* (SDB)

Sludge drying bed digunakan untuk mengeringkan lumpur yang relatif stabil. Unit pengering lumpur berfungsi untuk menampung endapan lumpur dari unit pengolahan biologis. Unit ini biasanya berbentuk persegi panjang, yang terdiri dari lapisan pasir, kerikil, dan pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan tergantung dari cuaca, terutama sinar matahari (Metcalf dan Eddy, 2003). Adapun prinsip dari pengoperasian *sludge drying bed* adalah terjadi pengurangan kadar air dalam lumpur melalui proses filtrasi pada

tekanan rendah. Pada tahap ini kadar air bisa turun hingga 80% dan terjadi proses penguapan dari sisa kandungan air dalam lumpur. Pada tahap ini kadar air dalam lumpur bisa mencapai 65%. Lumpur kering yang diambil oleh petugas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) untuk digunakan sebagai pupuk kebun.

2.6.8 Unit Pengering Lumpur *Drying Area* (DA)

Drying area merupakan unit pengolahan lumpur yang berfungsi membantu proses pengeringan lumpur setelah dari unit *solid separation chamber* dan *sludge drying bed*, dimana proses pengeringan terjadi karena penguapan alamiah. Terdapat 2 unit drying area, yaitu drying area di sisi utara dan di sisi selatan yang dapat dilihat pada Gambar 2.9, dengan dimensi sebagai berikut:

Sisi Utara:

- Panjang : 33,35 m
- Lebar utara : 11 m
- Lebar selatan : 8,2 m
- Tinggi : 0,9 m

Sisi Selatan:

- Panjang : 36 m
- Lebar utara : 6,2 m
- Lebar selatan : 5,1 m
- Tinggi : 0,9 m



Gambar 2.9 Unit *Drying Bed* (DA)

Effluen hasil *drying area* berupa lumpur kering yang diambil oleh petugas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) untuk dibuang atau dijadikan tanah urug oleh warga sekitar IPLT Keputih.

2.7 Metode Life Cycle Assessment (LCA)

Life cycle assessment (LCA) adalah teknik untuk menilai potensi dampak lingkungan yang terkait dengan suatu produk, proses, atau layanan sepanjang masa hidupnya (Kim et al., 2013; Siracusa et al., 2014). LCA memiliki dua tujuan utama sebagai alat manajemen lingkungan. Pertama adalah mengukur dan mengevaluasi lingkungan kinerja suatu produk atau proses dari "bahan mentah sampai kembalinya ke alam" sehingga membantu para pengambil keputusan untuk memilih di antara produk dan proses alternatif. Tujuan lain dari LCA adalah untuk memberikan dasar untuk menilai potensi peningkatan kinerja lingkungan dari sistem produk (Nigri et al., 2014). Salah satu metode yang paling diakui untuk menilai dampak lingkungan yang terkait dengan kegiatan atau produk adalah LCA (Hospido et al., 2003). LCA memiliki potensi utama dalam proses pengambilan keputusan lingkungan, terletak dalam memberikan basis kuantitatif untuk menilai potensi peningkatan kinerja lingkungan dari suatu sistem sepanjang siklus hidup (Azapagic dan Clift, 1999).

Life cycle assessment (LCA) dapat memberikan pandangan holistik tentang dampak lingkungan akibat produk, layanan, atau aktivitas dengan memperhatikan semua *input* dan *output* dari suatu sistem (Kloepffer, 1997). LCA adalah metode yang banyak digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari sistem pengelolaan limbah (Kulczycka et al., 2015). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putri (2017) bahwa *life cycle assessment* (LCA) mampu mengidentifikasi dampak emisi yang dihasilkan dari proses produksi bensin. Siklus hidup yang dianalisis adalah proses eksplorasi dan produksi, proses pengolahan, proses pemasaran, dan penggunaan oleh masyarakat. Alternatif terbaik guna mereduksi emisi yang terjadi pada proses eksplorasi dan produksi adalah pemanfaatan gas buang sebagai *fuel* pompa. Pada proses pengolahan adalah adsorpsi dengan *zeolite* dan pengaplikasian gas *handling system* sebagai alternatif perbaikan pada proses pemasaran.

LCA adalah metodologi untuk mengevaluasi beban lingkungan dari proses dan produk selama seluruh siklus hidup (Sonneman et al., 2003). LCA proses untuk mengevaluasi beban lingkungan yang terkait dengan suatu produk. Evaluasi dilakukan dengan mengidentifikasi energi dan material yang digunakan dan mengukur limbah yang dilepas ke lingkungan. *Life cycle assessment* (LCA) adalah metode untuk menganalisis beban atau dampak lingkungan disemua tahapan dalam siklus hidup suatu sumber daya, baik dari proses awal ekstraksi hingga tidak dapat digunakan kembali (dibuang) (Palupi dkk, 2014). Untuk membuat evaluasi ini, dibutuhkan pandangan sistemik dari proses dan pengetahuan bahwa beban lingkungan dapat ditransfer dari satu tahap ke tahap lainnya. Cara ini mungkin dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik negatif dari siklus hidup dan kemungkinan upaya menghindarinya (Finkbeiner et al., 2006).

Perusahaan dapat menggunakan LCA untuk mengidentifikasi bagian dari proses yang memiliki dampak lingkungan terbesar sehingga mereka dapat memfokuskan upaya pengoptimalan pada bagian tersebut. Perusahaan dapat membandingkan alternatif proses produksi untuk memilih proses mana yang lebih baik kinerjanya. Dalam pengelolaan limbah, LCA dapat digunakan untuk memilih di antara berbagai pendekatan pengelolaan limbah, misalnya membandingkan proses daur ulang bisa jadi tidak selalu lebih unggul daripada insinerasi (Helman, 2011).

2.7.1 Prinsip *Life Cycle Assessment* (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) memiliki prinsip sebagai berikut (Pujadi, 2013):

1. Melihat siklus hidup sebagai suatu perspektif, dengan kata lain mempertimbangkan seluruh siklus hidup fisik dari suatu produk (atau jasa), mulai dari ekstraksi bahan baku, pemakaian energi dan material produksi, proses produksi, penggunaan produk, sampai akhir hidup produk tersebut. Perspektif yang lainnya adalah melihat siklus hidup pada suatu proses tertentu yang sekarang ini banyak dilakukan sebagai penelitian

2. Mencakup semua aspek lingkungan menjadi satu penilaian umum sehingga dampak lingkungan dapat diidentifikasi
3. Memberikan transparansi dalam rangka memastikan interpretasi yang tepat atas hasil yang didapatkan oleh perhitungan
4. Bersifat iteratif karena terdiri dari empat tahapan yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian, *life cycle inventory* (LCI), *life Cycle impact assessment* (LCIA), dan interpretasi data
5. Berfokus kepada lingkungan dengan mempelajari aspek lingkungan dari sistem produk dan mengesampingkan aspek ekonomi dan sosial ke luar penelitian
6. Merupakan metode yang berbasis ilmu pengetahuan meskipun keadaan ilmiah selalu berubah. LCA memberikan gambaran dari keadaan tertentu pada waktu tertentu

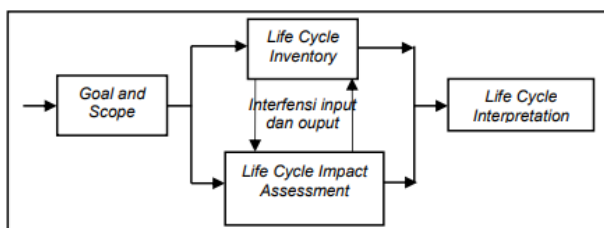
2.7.2 Karakteristik dan Batasan *Life Cycle Assessment* (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) memiliki karakteristik dan batasan untuk menilai siklus hidup, adapun batasan tersebut adalah sebagai berikut (Pujadi, 2013):

1. Karakteristik utama dari LCA adalah sifat analisis secara menyeluruh dan lengkap yang menjadi kekuatan utama metode ini
2. Metode LCA berfokus pada karakteristik fisik dari aktivitas industri dan proses ekonomi lainnya, dan tidak termasuk mekanisme pasar atau efek lain dalam pengembangan teknologi
3. LCA hanya berfokus pada aspek lingkungan dan tidak berkaitan dengan aspek ekonomi, aspek sosial, maupun aspek lainnya
4. LCA adalah sebuah alat analitis yang digunakan untuk menyediakan informasi untuk mendukung keputusan, namun LCA tidak dapat menggantikan proses pengambilan keputusan itu sendiri

2.8 Tahap-tahap dalam *Life Cycle Assessment* (LCA)

Fase *life cycle assessment* (LCA) sesuai dengan ISO 14040 (Marriot, 2007 dalam Santoso 2012) yaitu:



Gambar 2.10 Tahapan Penyusunan LCA

Tahap-tahap dalam melakukan analisis dampak lingkungan dengan metode *life cycle assessment* (LCA) terdiri dari empat fase sebagai berikut (Hermawan, 2013):

2.8.1 Penentuan Tujuan dan Batasan Penelitian

Fase ini bertujuan untuk memformulasikan dan mendeskripsikan tujuan, sistem yang akan dievaluasi, batasan-batasan, dan asumsi-asumsi yang berhubungan dengan dampak disepanjang siklus hidup dari sistem yang sedang dievaluasi serta pemilihan metode dalam pelaksanaan LCA. Berikut Tabel 2.3 metode yang terdapat dalam *software* simaPro 8.5:

Tabel 2.4 Metode pada *Software* SimaPro 8.5

| No | Metode | Keterangan |
|----|--------------------------|---|
| 1. | CML-IA | Pendekatan titik tengah |
| 2. | Ecplogical Scarcity 2013 | Metode ini mempertimbangkan dampak lingkungan- emisi polutan dan konsumsi sumber daya |
| 3. | EDIP 2003 | Pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product |
| 4. | EPD 2013 | Metode yang memiliki konsep deklarasi produk ramah lingkungan |
| 5. | EPS 2000 | Metode yang diperuntukkan untuk pengembangan produk internal perusahaan. Model dan data dibuat dari sudut pandang utilitas produk yang dikembangkan |

| No | Metode | Keterangan |
|-----|---|--|
| 6. | Impact 2002+ | Metodologi penilaian dampak dengan implementasi pendekatan midpoint/damage gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup |
| 7. | ReCiPe | Metode dengan mengintegrasikan pendekatan berorientasi masalah dan pendekatan berorientasikan kerusakan |
| 8. | ILCD 2011 Midpoint+ | Penerapan metode koreksi |
| 9. | Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES) | Metode ini menggabungkan penilaian siklus hidup parsial dan biaya siklus hidup untuk bahan bangunan dan konstruksi menjadi alat. Metode ini membantu dalam pemilihan produk yang menyeimbangkan lingkungan dan ekonomi kerja |
| 10. | IPCC 2013 | Metode berdasarkan faktor perubahan iklim dengan jangka waktu 20 dan 100 tahun |

Sumber : Santoso et al, 2012

Tujuan dan batasan penelitian dengan LCA dijelaskan dengan keterangan berikut :

- Alasan menggunakan metode LCA
- Definisi yang tepat terhadap produk yang dimaksud
- Deskripsi dari batasan (*boundary*) penelitian

Tujuan dan batasan penelitian adalah untuk memastikan bahwa penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil yang bersifat konsisten.

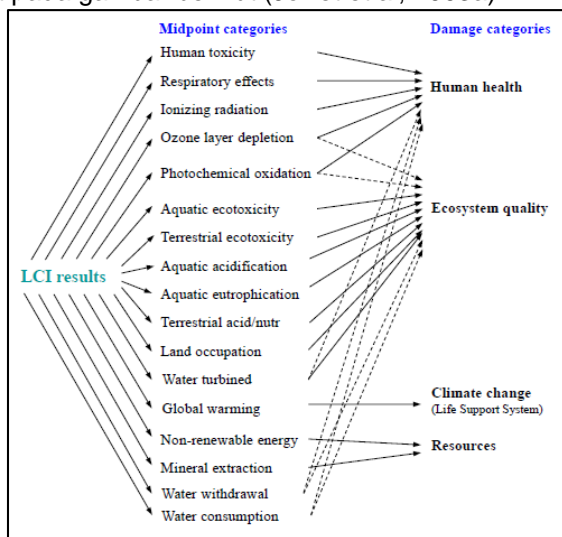
2.8.2 Inventarisasi Data

Life cycle inventory (LCI) mencakup pengumpulan data dan perhitungan *input* dan *output* ke lingkungan dari sistem yang sedang dievaluasi. Fungsi *life cycle inventory* (LCI) adalah menginventarisasi penggunaan sumber daya, penggunaan energi

dan pelepasan ke lingkungan terkait dengan sistem yang sedang dievaluasi. Proses LCI membutuhkan data-data penting yang dijadikan dasar dalam proses keakuratan data, sehingga data yang dikumpulkan harus lengkap dan berasal dari sumber yang tepat. Proses LCI didalam *software* SimaPro 8.3, data-data umum didalam database Simapro telah tersedia, namun tidak semua ada sesuai kebutuhan sehingga data-data yang belum lengkap dapat dilengkapi oleh peneliti.

2.8.3 Perkiraan Dampak

Dampak lingkungan potensial yang signifikan dari proses/produk berdasarkan LCI dievaluasi menggunakan *impact assessment*. Fase ini bertujuan untuk mengelompokkan dan menilai dampak lingkungan yang signifikan. Dalam proses perkiraan dampak lingkungan, metode penilaian dampak yang digunakan akan dipilih sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Hasil kategori dampak adalah representasi kuantitatif dari perubahan kualitas lingkungan dan dihitung dengan mengalikan *damage factors* dengan data inventaris. Informasi lebih lanjut tentang konsep umum seperti kerangka kerja LCIA metodologis dapat dilihat pada gambar berikut (Jolliet et al, 2003a):



Gambar 2.11 Skema Keseluruhan Impact 2002+

a. Human Toxicity

Potensi toksisitas manusia atau *human toxicity potential* (HTP) mencerminkan bahaya potensial dari satu zat kimia yang dilepaskan ke lingkungan, didasarkan pada toksisitas senyawa yang melekat dan potensi dosis zat kimia (Thomas dan Edgar, 2001).

b. Respiratory Effect

Studi epidemiologi menunjukkan bahwa polusi udara memainkan peran penting dalam patogenesis penyakit pernapasan kronis (Baldacci, 2002).

c. Ionizing Radiation

Radiasi dengan energi yang cukup untuk mengionisasi materi disebut radiasi pengion, dan sinar-x dan sinar gamma adalah satu-satunya jenis radiasi pengion elektromagnetik yang diketahui (Louis, 1990).

d. Ozone Layer Depletion

Klorofluorokarbon dan halon adalah depletor ozon yang kuat. Meluasnya penipisan lapisan ozon adalah peningkatan jumlah radiasi ultraviolet yang diterima permukaan bumi dan berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan (Sivasakthivel dan Reddy, 2011).

e. Photochemical Oxidation

Jejak alam gas serta polutan antropogenik, sebagian besar dipancarkan sebagai molekul tereduksi atau teroksidasi. Di atmosfer bumi mengandung sekitar 20% oksigen, sebagian besar gas-gas ini akan teroksidasi dan diubah menjadi asam, dan oleh karena itu larut dalam air (Ehhalt, 1994).

f. Aquatic Ecotoxicity

Konsep dasar ekotoksikologi akuatik bertujuan untuk memahami hubungan antara organisme air dan lingkungannya. Sistem ekologis berfungsi atas dasar tindakan dan interaksi antara faktor abiotik atau faktor biotik, yang berhubungan dengan komponen biologis (Boudou dan Ribeyre, 1997).

g. Terrestrial Ecotoxicity

Toksitas lingkungan yaitu efek zat kimia terhadap organisme dan lingkungan. Penilaian toksitas

lingkungan sangat penting untuk melindungi ekosistem alam. Spesies yang sering digunakan dalam pengujian toksisitas meliputi cacing tanah, mikroorganisme tanah, tanaman, burung, dan lebah (Haye et al, 2007).

h. Aquatic Acidification

Karbon dioksida yang larut dalam air akan membentuk asam karbonik, memicu reaksi kimia asam dan mengurangi ketersediaan buffer seperti karbonat. Karbonat tidak hanya bertindak sebagai penyangga di dalam ekosistem laut atau sungai, tetapi sangat penting karena banyak kerang dan karang yang membutuhkannya untuk membangun kerangka dan cangkangnya. Ketika karbonat berkurang, organisme air menghabiskan lebih banyak waktu untuk membangun kerang, mengurangi makan dan bertahan hidup di bagian dasar (Tembo, 2017).

i. Aquatic Eutrophication

Eutrofikasi adalah masalah lingkungan yang disebabkan oleh peningkatan nutrisi, seperti nitrogen dan fosfor, dalam ekosistem akuatik. Nutrien ini memiliki berbagai sumber yang cukup banyak. Mereka mungkin tidak hanya berasal dari limbah perkotaan dan industri tetapi juga dari lahan pertanian (Johnson et al., 2007; Donald et al., 2011).

j. Land Occupation

Bangunan memiliki efek pada penggunaan lahan tidak hanya karena ekstraksi dan pembuangan limbah saja tetapi juga karena bangunan menempati lahan selama masa layanan (Hakkinen et al, 2013).

k. Water Turbined

Telah diketahui bahwa pembangkit listrik tenaga air secara langsung mempengaruhi habitat dan iklim. Namun, tenaga air merupakan sumber energi terbarukan hijau, tidak mencemari lingkungan jika langkah-langkah yang tepat diterapkan. Kualitas air yang dibuang dari turbin dan tingkat oksigen terlarut rendah yang mungkin memiliki dampak yang merugikan atas lingkungan dan dapat membahayakan kehidupan air (Bunea et al, 2010).

l. Global Warming

Pemanasan global adalah peningkatan suhu permukaan bumi karena efek rumah kaca. Gas rumah kaca terdiri dari karbon dioksida dan monoksida (CO_2 , CO), oksida nitrogen (NO_x), *chlorofluorocarbons* (CFC), fluorida sulfur, metana, hidrokarbon, uap air dan lain-lain. Sebagian besar residu dari industri-industri umumnya terdiri dari bahan beracun berbeda yang terkonversi dalam bentuk gas yang dibuang di udara terbuka (Bhattacharjee, 2010).

m. Non Renewable Energy

Energi tidak terbarukan termasuk minyak, nuklir, gas, dan batu bara memiliki keterbatasan pasokan dan tidak dapat didaur ulang atau diganti. Tidak mungkin untuk menggunakan sumber yang tidak terbarukan selamanya karena setelah dikonsumsi mereka tidak dapat direproduksi atau diregenerasikan dengan kapasitas sama. Proses regenerasi membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk diselesaikan. Diperkirakan bahwa pada tahun 2100 permintaan energi global akan meningkat hingga 5 kali lipat dari permintaan saat ini. Saat ini, bahan bakar fosil memenuhi tiga tuntutan energi global. Di sisi lain karena penggunaan bahan bakar fosil besar-besaran, jumlah emisi CO_2 meningkat di lingkungan, menyebabkan gas rumah kaca (Halder et al., 2015).

n. Water Withdrawal

Kebutuhan air di masyarakat mencapai rata-rata 30% dan dalam beberapa kasus dapat mencapai hingga 60% dari total ketersediaan air. Peningkatan kebutuhan air menjadi semakin penting dikarenakan kepadatan penduduk yang terus meningkat, sehingga harus memahami tren kebutuhan yang ada. Amerika Serikat menarik banyak air setiap hari untuk digunakan di rumah, bisnis, industri dan produksi makanan. Sementara penggunaan domestik signifikan, mayoritas penarikan air adalah untuk pembangkit listrik termoelektrik dan irigasi tanaman memiliki konsumsi tertinggi (Vandecasteele, 2014).

o. *Water Consumption*

Penggunaan dan konsumsi air dalam jumlah berlebih merupakan peningkatan masalah di lingkungan. Kepentingan global akan tenaga air dan konsumsi air yang tinggi memerlukan pembangkit listrik tenaga air yang lebih besar untuk penyediaan air (Stepan et al, 2011).

Beberapa tahapan dalam penentuan nilai dampak lingkungan yang dihasilkan kedalam bentuk angka. Beberapa tahapan yang dilakukan adalah :

1. *Characterization*

Pada tahap karakterisasi ini adalah mengidentifikasi dan mengelompokkan substansi yang berasal dari LCI kedalam kategori dampak yang heterogen. *Characterization* merupakan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi sebagai kategori dampak. Nilai kontribusi dampak dari substansi dapat diketahui dengan mengalikan substansi yang berkontribusi pada dampak kategori dengan faktor karakterisasi.

2. *Normalization*

Normalization adalah tahapan yang menunjukkan kontribusi dampak pada seluruh masalah lingkungan di suatu daerah. *Normalization* dimaksudkan untuk menciptakan satuan yang seragam untuk semua kategori dampak. Nilai normalisasi dapat diketahui dengan mengalikan nilai karakterisasi dengan nilai "normal" sehingga semua kategori dampak telah memiliki unit yang sama sehingga bisa dibandingkan.

3. *Weighting*

Weighting merupakan tahap pembobotan dalam kategori dampak. Hal ini berarti hasil normalisasi akan dikalikan dengan *weighting factor* dan akan diakumulasikan sebagai *total score*.

4. *Single Score*

Single Score digunakan untuk mengelompokkan nilai kategori dampak berdasarkan aktivitas atau proses yang terjadi. Dari nilai *single score* akan terlihat aktivitas mana yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan.

2.8.4 Interpretasi Data

Tahapan terakhir dari metode LCA adalah menginterpretasi data. Hasil dari ketiga tahapan sebelumnya, kemudian diambil kesimpulan akhir. Kombinasi hasil dari *life cycle inventory* dan *life cycle impact assessment* digunakan untuk menginterpretasikan, menarik kesimpulan dan rekomendasi yang sejalan dengan *goal* dan *scope* yang telah ditentukan sebelumnya.

2.9 Definisi Software SimaPro

SimaPro adalah *software* yang digunakan untuk mengumpulkan data, menganalisis, dan memantau kinerja keberlanjutan produk dan jasa dari suatu perusahaan. SimaPro dapat digunakan untuk penilaian siklus hidup, pembuatan laporan mengenai *sustainability*, desain produk, menentukan indikator kinerja utama, dan lainnya. SimaPro dikembangkan untuk membantu dalam pengumpulan fakta dan menggunakan metode LCA untuk memberikan wawasan yang diperlukan untuk menciptakan nilai yang berkelanjutan.

SimaPro telah menjadi perangkat lunak LCA terkemuka di dunia selama 25 tahun, dan dipercaya oleh industri dan akademisi di lebih dari 80 negara (www.simapro.co.uk). SimaPro merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dampak lingkungan dari suatu sistem tertentu. Data yang dimasukkan dalam *software* SimaPro ditentukan berdasarkan deskripsi sistem yang sudah dijelaskan sebelumnya meliputi distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir (Kautzar, 2015).

Software SimaPro yang biasa digunakan di dalam analisis LCA adalah SimaPro versi 8.5. *Software* SimaPro dengan versi terbaru ini memiliki *update* dari *database* dari standar-standar di dalam analisis ekologi dan pada versi terbaru ini memiliki *database* LCA atau *database* eko inventori yang terbaru. Hasilnya akan mengkalkulasi inputan seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan outputan suatu nilai grafik. SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan *software* lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

- Bersifat fleksibel
- Memiliki metode dampak yang beragam

- Dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi
- Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak
- Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya
- Mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah AHP
- Hadir dengan 3 versi yang diklasifikasikan berdasarkan pengguna, yaitu:
 - *SimaPro Compact*: digunakan untuk mengatur tugas kompleks
 - *SimaPro Analyst*: digunakan untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih dengan versi institusinya adalah SimaPro PhD
 - *SimaPro Developer*: digunakan untuk pengguna yang ingin mengembangkan dedikasi LCA atau menghubungkan Simapro dengan *software* yang lainnya

Terdapat beberapa tahapan pada SimaPro yakni:

- a. Menentukan *Goal and Scope*
 - *Text field*, untuk menginput data pemilik, judul penelitian, tanggal, komentar, alasan dan tujuan melakukan penelitian LCA
 - Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang akan digunakan
 - *Input*
Input data ini berupa material dan energi yang digunakan pada kegiatan produksi.
 - *Output*
Output pada kegiatan produksi berupa emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara.
- b. Melakukan Inventarisasi
 - *Process*, merupakan input data mengenai *input* dan *output*, *documentation*, parameter, dan *system description* mengenai proses kegiatan industri tersebut

- *Productstages*, mendeskripsikan bagaimana suatu produk diproduksi, digunakan, dan dibuang
- *System description*, rekaman terpisah untuk mendeskripsikan struktur dari sistem
- *Waste types*, terdapat *waste scenarios* (material dibuang) dan *disposal scenarios* (produk yang digunakan kembali)

Pada tahap tutorial ini diinput data, seperti proses pada produksi solar yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kemudian dimasukkan beban emisi yang dihasilkan, dimana data ini dalam jumlah per tahun.

c. Penilaian Terhadap Cemar

- *Characterization*, pada tahapan ini akan mengukur kontribusi dampak dari produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak dengan cara mengalikan tiap zat dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif mereka terhadap lingkungan (Putri, 2017). Pada tutorial ini yaitu senyawa kimia pada suatu proses yang memiliki kontribusi pada *impact category* yang terdapat pada LCA. Pada *characterization* akan disajikan nilai persentase masing masing emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sub proses terhadap 14 *impact category*.
- *Normalization* yaitu tahap mengalikan nilai karakterisasi dengan nilai normal untuk menyetarakan satuan pada masing-masing kategori dampak secara internasional.
- *Weighting*, merupakan proses mengalikan dampak kategori dengan faktor pembobotan.
- *Single Score*, merupakan tahap untuk mengetahui proses yang berkontribusi dampak terhadap lingkungan.

d. Interpretasi data

Mengevaluasi dan meninjau kembali suatu kesimpulan untuk pengambilan keputusan terkait alternatif perbaikan pada suatu sistem untuk mengurangi nilai kontribusi dampak. Pengambilan keputusan terkait alternatif perbaikan memerlukan kebijakan dengan pendekatan tertentu untuk penentuan prioritasnya.

2.10 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki. Hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. Dengan hirarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hirarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis (Amar, 2014).

Kelebihan dari model AHP dibandingkan dengan model pengambilan keputusan yang lain terletak pada kemampuannya untuk memecahkan masalah yang multi objektif dengan multikriteria. Kebanyakan model yang sudah ada memakai single objectives dengan multikriteria. Kelebihan model AHP ini lebih disebabkan oleh fleksibilitasnya yang tinggi terutama dalam pembuatan hirarki. Sifat fleksibel tersebut membuat model AHP dapat menangkap beberapa tujuan dan beberapa kriteria sekaligus dalam sebuah model atau sebuah hirarki (Ardiyanto, 2015). Metode AHP juga berdasarkan dari responden para ahli yang memahami terkait isi penelitian, sehingga nilai tersebut dapat dipertanggung jawabkan.

Konsep metode AHP adalah merubah nilai-nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif, sehingga keputusan-keputusan yang diambil bisa lebih obyektif. Metode AHP merupakan salah satu model untuk pengambilan keputusan yang dapat membantu kerangka berfikir manusia (Supriyono et al, 2007). Menurut Sambudi Hamali tahun 2015, Proses hirarki analisis memiliki prinsip dasar sebagai berikut:

1. Menyusun secara hirarkis, yaitu memecahkan masalah dalam unsur yang terpisah. Fokus permasalahan dibuat secara hirarkis dengan permasalahan utama dijadikan sebagai prioritasnya.
2. Menetapkan prioritas, yaitu menentukan peringkat elemen menurut relatif pentingnya. Setelah menyusun hirarki, selanjutnya memberikan penilaian tentang

kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu.

3. Mengukur konsistensi logis, yaitu menjamin bahwa semua elemen dikelompokkan secara logis dan diperingkatkan secara konsisten sesuai dengan kriteria yang logis. Proses AHP mencakup pengukuran konsistensi yaitu dimana pemberian nilai dalam perbandingan antar objek telah dilakukan secara konsisten.

2.11 Aplikasi *Expert Choice* Untuk Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Expert choice adalah sebuah aplikasi yang khusus digunakan sebagai alat bantu implementasi model-model dalam *decision support system* (DSS) atau yang lebih dikenal dengan sebutan sistem penunjang keputusan (SPK) dalam sebuah perusahaan ataupun untuk keperluan akademik. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk menentukan keputusan-keputusan yang sulit untuk dipecahkan ataupun diputuskan oleh para pengambil keputusan. *Software* ini memiliki tingkat keakuratan yang tinggi untuk metode *analytical hierarchy process* (AHP), bilamana didukung dengan data-data yang konsisten. Dalam memilih kriteria pada setiap masalah pengambilan keputusan perlu memperhatikan kriteria sebagai berikut:

1. Lengkap, mencakup aspek penting dan digunakan dalam mengambil keputusan
2. Operasional, setiap kriteria mempunyai arti bagi pengambil keputusan
3. Tidak berlebihan, menghindari adanya kriteria yang mengandung pengertian yang sama
4. Minimum, diusahakan agar jumlah kriteria minimum untuk mempermudah pemahaman

Pada penelitian ini LCA digunakan untuk meneliti dan untuk menganalisis aspek lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk dan siklus hidupnya. Hasil dari pendekatan LCA dapat diketahui bahwa suatu bahan atau proses tertentu dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Alternatif yang dimunculkan didukung beberapa kriteria di AHP, sehingga dalam pengambilan keputusan akan diperoleh alternatif kebijakan yang

optimal (Sitepu,2011). Adapun pemilihan alternatif dengan mempertimbangkan kriteria yang ada melalui pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP). Metode ini menggunakan pendekatan pendapat dari para ahli. Untuk memperoleh hasil yang maksimal dari suatu program, langkah awal adalah memilih dan menentukan prioritas yang tepat dan selanjutnya melaksanakannya dengan benar (Makkasau, 2012).

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait *metode life cycle assessment* (LCA):

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu *Life Cycle Assessment* (LCA)

| No | Judul | Tahun | Isi |
|----|---|-------|--|
| 1. | Aplikasi Software SimaPro 5.0 Sebagai Alat Prediksi Reduksi Pencemar Lingkungan (Studi Kasus PT Semen Gresik Tbk.) (a) | 2007 | Penelitian ini mengkaji proses semen produksi <i>portland pozzolan cement</i> , produk dari PT Semen Gresik. Dari penaksiran dampak lingkungan dapat disusun rancangan-rancangan teknis maupun manajerial untuk mencapai peningkatan performasi produk terhadap lingkungan. Alternatif-alternatif perbaikan yang disusun akan diproses dengan <i>analytical hierarchy process</i> (AHP) berdasarkan beberapa kriteria yang dibuat. Untuk alternatif perbaikan optimum didapatkan memperbesar rasio penambahan bahan aditif terhadap unit produksi <i>clinker</i> . |

| No | Judul | Tahun | Isi |
|----|--|-------|---|
| 2. | Pengkajian Daur Hidup Ampas Tebu Di Pabrik Gula Madukismo Yogyakarta Menggunakan <i>Metode Life Cycle Assessment</i> (LCA) (b) | 2009 | Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daur hidup ampas tebu di pabrik gula Madukismo dengan metode LCA. Data yang diambil berhubungan dengan dengan konsumsi dan produksi energi pada proses produksi gula tebu dan pemanfaatan ampasnya untuk bahan bakar ketel uap di pabrik. Hasil yang dianalisis menggunakan perangkat lunak LCA menunjukkan bahwa input energi di stasiun gilingan dan stasiun ketel PG Madukismo lebih besar dibandingkan dengan output energinya dengan rasio energi secara berurutan adalah 0,84 dan 0,25. |
| 3. | Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Gula pada Pabrik Gula Tebu (c) | 2012 | Pada penelitian ini mengidentifikasi siklus hidup pada proses produksi gula meliputi penggunaan bahan baku, efisiensi penggunaan energi, dan analisis terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Kualitas limbah cair pabrik gula ini melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, hal ini |

| No | Judul | Tahun | Isi |
|----|---|-------|---|
| | | | terkait dengan efisiensi dalam penggunaan bahan baku dan energi dipengaruhi oleh siklus hidup gula mulai dari kebun sampai proses produksi gula di pabrik yang akan berimplikasi terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan. |
| 4. | Analisis dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan teknologi <i>flashsteam system</i> (d) | 2014 | Penelitian ini mengkaji dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit listrik tenaga panas bumi yang menggunakan teknologi <i>flash steam system</i> . <i>Life cycle assessment</i> (LCA) merupakan metode untuk menganalisis dampak suatu produk terhadap lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Hasil penelitian menunjukkan empat dampak potensial utama yaitu perubahan iklim, penipisan sumber daya abiotik, <i>acidification</i> dan <i>eutrophication</i> . Fase yang menimbulkan dampak terbesar pada daur hasil analisis menunjukkan industri minyak bumi dengan teknologi yang berbeda akan menimbulkan dampak berbeda. |

| No | Judul | Tahun | Isi |
|----|--|-------|--|
| 5. | <i>Life Cycle Assessment</i> Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap : Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa (e | 2014 | Pendekatan metode <i>life cycle assessment</i> (LCA). <i>cradle to gate</i> untuk mengevaluasi 4 skenario penggunaan bahan bakar: (1) 100% batubara, (2) campuran 90% batubara dan 10% biomassa, (3) campuran 50% batubara dan 50% biomassa, (4) 100% biomassa, dengan basis 1000 kg produk semen. Analisis perbaikan dan rekomendasi mengurangi dampak yang terjadi yaitu mengganti angkutan truck pasir silika dengan kereta api, bahan bakar biomassa menggunakan <i>Miscanthus giganteus</i> dan melakukan penghijauan |
| 6. | <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (Bbm) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Metode <i>Analytical Hierarchy</i> (f) | 2017 | Penelitian ini mengidentifikasi dampak emisi yang dihasilkan dari proses produksi bensin menggunakan <i>life cycle assessment</i> (LCA) yang merupakan metode untuk menganalisis dampak suatu produk terhadap lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Siklus hidup yang dianalisis adalah proses eksplorasi dan produksi, proses pengolahan, proses |

| No | Judul | Tahun | Isi |
|----|---|-------|---|
| | | | pemasaran, dan penggunaan oleh masyarakat. Alternatif terbaik guna mereduksi emisi pada proses eksplorasi dan produksi adalah pemanfaatan gas buang sebagai <i>fuel</i> pompa. |
| 7. | <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) Pengelolaan Sampah Pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus : TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo) (g) | 2017 | Penelitian untuk menentukan skenario pengelolaan sampah yang ditinjau dari segi aspek teknis dan aspek lingkungan untuk mendukung pengelolaan sampah di TPA Jabon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario pengelolaan sampah yang tepat adalah skenario 1 (daur ulang, pengomposan, dan insensari), dari aspek lingkungan skenario 2 (daur ulang, pengomposan, dan sanitary landfill) menghasilkan dampak lingkungan terkecil. |

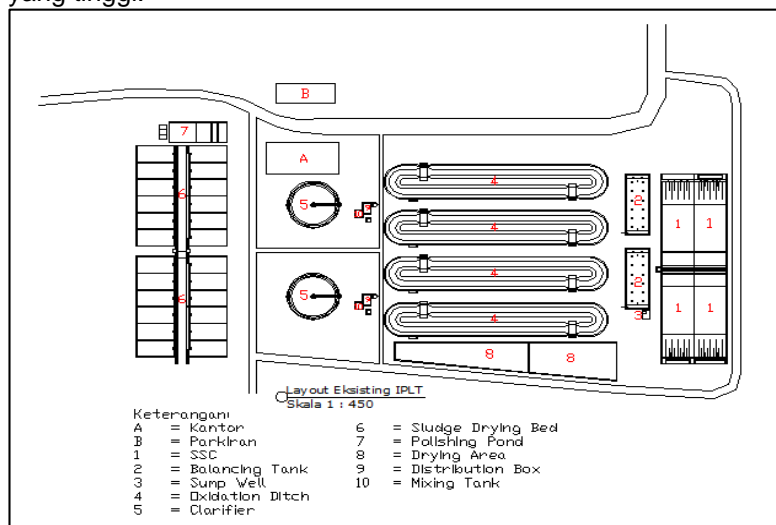
Sumber :

- a. Abdi, 2007
- b. Rosmeika dkk, 2009
- c. Yani dkk, 2012
- d. Laili, 2014
- e. Harjanto dkk, 2014
- f. Putri, 2017
- g. Gaol, 2017

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Wilayah Penelitian

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih merupakan salah satu unit pelaksana teknis daerah (UPTD) dari Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Kota Surabaya. IPLT Keputih terletak di jalan Keputih Tegal Timur III A dibangun pada tahun 1989 hingga 1990 dan mulai beroperasi pada tahun 1991. Semua sistem sanitasi baik sistem *on site* maupun *off site* membutuhkan IPLT. Kedua sistem ini sama-sama menghasilkan lumpur tinja hasil degradasi dan tidak bisa dilepas ke lingkungan secara langsung karena masih mengandung konsentrasi organik, nutrisi dan bakteri patogen yang tinggi.



Gambar 3.1 Layout IPLT Keputih yang Menjadi Wilayah Penelitian

Luas lahan IPLT ini sekitar 2,1 hektar dengan kapasitas penampungan limbah tinja sebanyak 400 m³/hari. Saat ini kapasitas pengolahan sekitar 100 hingga 150 m³/hari. Hasil pengolahan dari lumpur tinja berupa air terolah yang sebagian diresirkulasi dan sebagian lagi dilepas ke lingkungan. IPLT tidak

menyediakan kendaraan pengangkut tinja sendiri, tetapi IPLT bekerja sama dengan perusahaan penyedotan WC dari berbagai macam lokasi di Surabaya. Saat ini sudah ada 30 perusahaan dalam bentuk CV, PT atau UD yang telah bergabung. Data perusahaan pengurusan dan volume pembuangan tinja pada Mei 2018 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Perusahaan Pengurusan dan Volume Tinja pada Mei 201

| No | Nama Perusahaan | Alamat | Volume/m3 |
|----|-------------------|--------------------------------------|-----------|
| 1 | PT Setra Sari | Jl. Ngagel Jaya Indah III No.10-12 | 69,00 |
| 2 | PT Tinja | Jl. Mayjend Sungkono 228 | 50,22 |
| 3 | CV Jaya Utama | Jl. Petemon III/192 A | 31,98 |
| 4 | CV Prayogo | Jl. Petemon Barat 172 | 24,60 |
| 5 | CV Nusa Jaya | Jl. Karang Empat IX No.43 | 174,84 |
| 6 | CV Cahaya Hidup | Jl. Darmo Baru Barat No.33 | 0,00 |
| 7 | UD Eka Jaya | Jl. Semolowaru Selatan I/16 | 7,80 |
| 8 | UD Sumber Rejeki | Jl. Lembah Harapan AE/16 | 64,44 |
| 9 | CV Jaya Abadi | Jl. Bratang Wetan III/2 | 54,42 |
| 10 | CV Utama | Jl. Bendul Merisi 142 | 81,18 |
| 11 | CV Surya Agung | Jl. Bulak Banteng Gg. Encap | 4,20 |
| 12 | KOPSAS | Jl. Kebalen Barat No.97 | 6,60 |
| 13 | PT Menang | Jl. Candi Lontar Wetan 44N-5 | 0,00 |
| 14 | UD Sumber Kencono | Jl. Krukah Utara 14 | 28,62 |
| 15 | UD Mentari | Jl. Candi Lontar Utara Blok D/76 | 0,00 |
| 16 | CV Mitra Abadi | Jl. Wisma Pandugo IIG 9 Blok T No.26 | 83,10 |
| 17 | CV Sanjaya | Jl. Dukuh Pakis V/11A | 37,44 |
| 18 | CV Top | Jl. Dukuh Setro III/50 | 170,28 |
| 19 | UD Sumber Jaya | Jl. Krukah Utara 14 | 107,16 |
| 20 | CV Barokah | Jl. Semolowaru Selatan Gg. Buntu | 87,84 |
| 21 | UD Anugerah | Jl. Barata Jaya IIA/54 | 48,00 |
| 22 | UD Prima | Jl. Ploso Timur Gg. Buntu No.8 | 33,30 |
| 23 | CV Maju | Jl. Mulyorejo Tengah Gg. 8/10B | 58,44 |
| 24 | Wahana Cemerlang | Belahan Rejo RT 02 Rw 01 | 1,74 |
| 25 | UD Mitra Mandiri | Jl. Karang Pilang Barat No.69 | 37,38 |
| 26 | CV Surya Kencana | Jl. Raya Lontar 116 | 2,40 |
| 27 | UD AEF Jaya | Jl. Mojo No.20 | 0,00 |
| 28 | UD Bima Sakti | | 499,74 |
| 29 | UD Wijaya | | 44,70 |
| 30 | Tinja DKP | | 80,00 |

Sumber: Survei Lapangan, 2018

Jam operasi IPLT Keputih buka 24 jam setiap hari, namun untuk waktu penyeteroran tinja dibatasi dari jam 08.00-15.00 WIB. Dalam Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 01 Tahun 2016 Tentang Retribusi Pengolahan Limbah Cair Dalam Bentuk Tinja pasal 14 ayat 2 yaitu besarnya retribusi setiap pelayanan pengolahan limbah cair dalam bentuk tinja pada instalasi pengolahan limbah tinja akan dikenakan retribusi sebesar Rp 15.000,00 untuk setiap 1 m³ limbah yang dibuang.

3.2 Deskripsi Umum

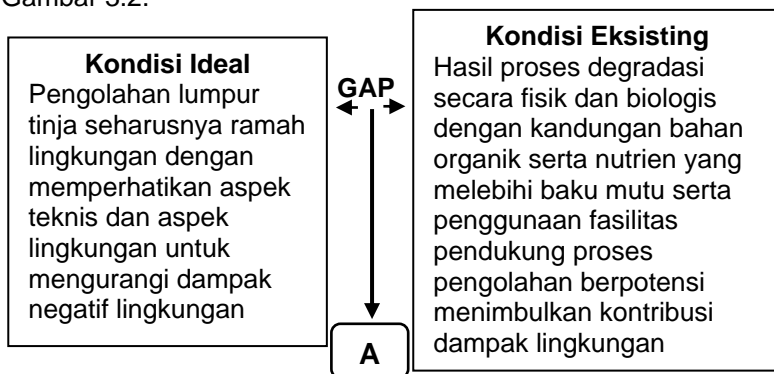
Metode penelitian digunakan sebagai dasar prosedur dan langkah-langkah sistematis dalam melakukan penelitian. Pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan kontribusi dampak lingkungan dan cara mengurangi kontribusi dampak lingkungan.

3.3 Kerangka Penelitian

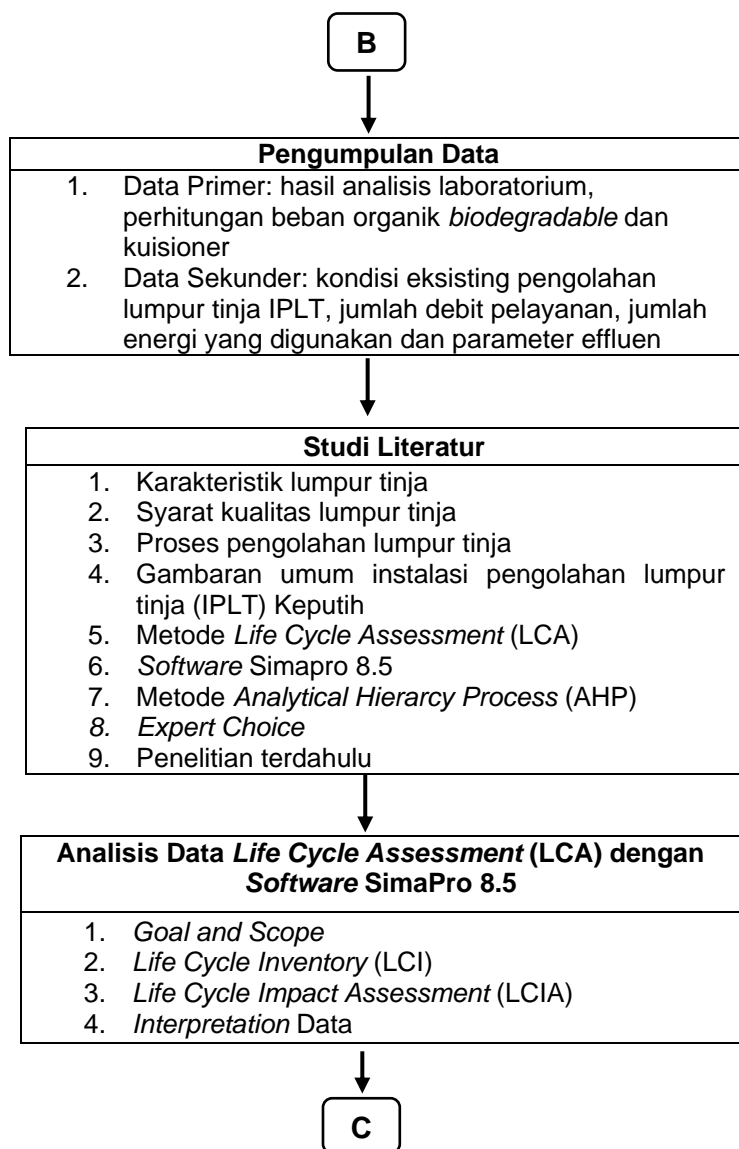
Kerangka penelitian merupakan kerangka acuan yang berisi rangkaian pokok kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian, dapat mempermudah proses pengerjaan penelitian agar konsisten dengan tujuan dan rumusan yang telah direncanakan. Berikut fungsi dari kerangka penelitian:

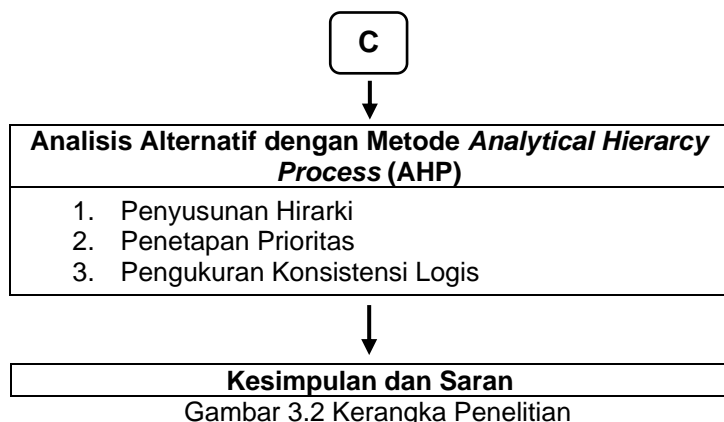
1. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian
2. Sebagai pedoman awal penelitian dan memudahkan pembaca dalam memahami mengenai penelitian yang akan dilakukan
3. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian agar tujuan penelitian tercapai

Kerangka penelitian dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.









Gambar 3.2 Kerangka Penelitian

3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan saat penelitian. Tahapan penelitian meliputi analisis kondisi ideal dan kondisi eksisting, penentuan rumusan masalah, penentuan tujuan, analisis laboratorium, pengumpulan data primer dan sekunder, studi literatur, analisis data dengan SimaPro, analisis alternatif dengan AHP, kesimpulan dan saran. Tujuan dari pembuatan tahapan penelitian adalah untuk memudahkan pemahaman dan penjelasan melalui deskripsi setiap tahap penelitian. Berikut langkah atau tahapan yang dilakukan dalam penelitian:

3.4.1 Ide Penelitian

Pelepasan limbah yang melebihi baku mutu ke lingkungan akan menimbulkan berbagai jenis penyakit sehingga perlu dilakukan perbaikan dalam pelayanan sanitasi. Semakin banyak limbah yang dihasilkan maka semakin besar pula masa kontaminasi dan nutrisi yang harus disisihkan. Eutrofikasi merupakan permasalahan yang terus meningkat di dunia yang disebabkan oleh peningkatan kandungan nutrisi dalam air limbah. Selain eutrofikasi setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang pengoperasian. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan analisis proses pengolahan lumpur tinja dengan metode *life cycle assessment* (LCA) untuk mengurangi terjadinya kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur

tinja di IPLT Keputih. Dengan kontribusi dampak yang ada maka diperlukan alternatif perbaikan untuk mengurangi nilai kontribusi dampak terhadap lingkungan. Penentuan kebijakan alternatif perbaikan dari hasil LCA akan dianalisis menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) dengan *software expert choice*.

3.4.2 Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan pada penelitian ini berasal dari berbagai sumber yaitu jurnal penelitian baik internasional maupun nasional, *text book*, laporan kerja praktik, tugas akhir, tesis, peraturan pemerintah, makalah seminar, dan *website* yang memuat informasi yang berkaitan dengan penelitian ini. Literatur yang diperlukan antara lain adalah definisi lumpur tinja, karakteristik lumpur tinja, persyaratan kualitas lumpur tinja, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), proses pengolahan lumpur tinja pada IPLT, kontribusi dampak akibat proses pengolahan lumpur tinja, metode *life cycle assessment* (LCA), SimaPro 8.5, metode *Impact 2002+*, metode *analytical hierarchy process* (AHP), *expert choice* dan penelitian terdahulu.

3.4.3 Penelitian Pendahuluan

1. Penentuan Lokasi Penelitian

Lokasi dari instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) Keputih Surabaya.

2. Pelaksanaan Penelitian Laboratorium

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan melalui sampling pada inlet dan outlet unit pengolahan lumpur tinja.

A. Pengambilan Sampel

Pada setiap unit yaitu *solid separation chamber* (SSC), *balancing tank* (BT), *sump well*, *oxidation ditch* (OD), *final clarifier* (CF) dan *polishing pond* (PP) disesuaikan dengan waktu tinggal proses sesuai dengan kriteria desain. Sampling dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008 yaitu metode pengambilan contoh air limbah.

B. Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengetahui kualitas effluen apakah telah memenuhi atau melebihi baku mutu yang ditetapkan. Analisis laboratorium yang dilakukan adalah pengukuran influen dan effluen dengan parameter

BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, pH, N dan P. Berikut persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk analisis laboratorium:

1. Persiapan Alat

- Peralatan untuk pengambilan sampel yaitu botol 600 mL dan botol kaca 140 mL sebagai wadah sampel.
- Peralatan untuk analisis laboratorium.

2. Persiapan Bahan

Berikut penjelasan dari masing-masing parameter yang dianalisis :

• **Parameter *Biochemical Oxygen Demand (BOD)***

Prinsip analisis BOD menggunakan metode *winkler*. Prinsipnya menggunakan titrasi iodometri. Sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu ditambahkan larutan $MnCl_2$ dan $NaOH-KI$ sehingga akan terjadi endapan MnO_2 . Kemudian dengan menambahkan H_2SO_4 atau HCl maka endapan yang terjadi akan larut kembali dan juga membebaskan iodium yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) dan menggunakan indikator larutan amilum. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods 22nd Edition Section 5210 B* (APHA, 2012).

• **Parameter *Chemical Oxygen Demand (COD)***

Metode pengukuran COD menggunakan metode *reflux*, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat dilakukan dengan cara titrasi. Kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam

sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods 22nd Edition Section 5220 C* (APHA, 2012).

- **Parameter Total Suspended Solid (TSS)**

Pengukuran TSS dilakukan dengan metode gravimetri. Sampel yang tercampur dengan baik disaring dan residu ditahan pada filter kemudian dikeringkan hingga berat konstan pada 103°C sampai 105°C. Peningkatan berat filter mewakili total padatan tersuspensi. Jika material tersuspensi menyumbat filter dan memperpanjang proses penyaringan, dapat diatasi dengan meningkatkan diameter filter atau mengurangi volume sampel. Untuk mendapatkan perkiraan total padatan tersuspensi, hitung selisih antara total padatan terlarut dan total zat padat. Analisis ini dilakukan berdasarkan *Standard Methods 22nd Edition Section 2540 D* (APHA, 2012).

- **Parameter pH**

Analisis parameter pH menggunakan pH meter, dimana penggunaannya adalah dengan mencelupkan pH meter kedalam sampel sehingga didapatkan nilai pH untuk masing-masing sampel yang akan diuji. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods 22nd Edition Section 4500-H⁺* (APHA, 2012).

- **Parameter Minyak dan Lemak**

Metoda ini untuk menentukan minyak dan lemak dalam contoh uji air dan air limbah secara gravimetri. Minyak dan lemak dalam contoh uji air diekstraksi dengan pelarut organik dalam corong pisah dan untuk menghilangkan air yang masih tersisa digunakan Na₂SO₄ anhidrat. Ekstrak minyak dan lemak dipisahkan dari pelarut organik secara destilasi. Residu yang tertinggal pada labu destilasi ditimbang sebagai minyak dan lemak. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 5520 B* (APHA, 1998).

- **Parameter Nitrat**

Cara uji ini digunakan untuk menentukan kadar nitrogen organik dalam air dan air limbah sampai kadar 100 mg/L secara makro kjeldahl, selanjutnya ammonia yang

terbentuk dapat ditetapkan secara titrimetri. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water* 4500 NO₃⁻ (APHA, 2005).

- **Parameter Fosfat**

Prinsip penentuan fosfat dengan metode spektrofotometri secara asam askorbat. Prinsip dari metode ini didasarkan pada pembentukan senyawa kompleks fosfomolibdat yang berwarna biru. Kompleks tersebut selanjutnya direduksi dengan asam askorbat membentuk warna biru kompleks *molybdenum*. Intensitas warna yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi fosfor. Warna biru yang timbul diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 700 nm sampai 880 nm. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods* 4500 P (APHA, 2005).

3.4.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai acuan yang akan digunakan dalam penentuan parameter penelitian. Data yang dikumpulkan yaitu:

1. Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan dengan analisis laboratorium effluen lumpur tinja, perhitungan beban organik *biodegradable*, wawancara kepada responden yang memahami kegiatan pengolahan tersebut dan kuisisioner. Responden yang dipilih adalah responden dengan tingkat pendidikan minimal D3 dan memahami proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Responden yang diwawancarai akan memilih alternatif yang memungkinkan untuk diaplikasikan pada pengolahan tersebut. Kuisisioner yang akan diisikan terlampir pada lampiran.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan untuk penelitian ini yaitu:

- a. Debit limbah yang masuk dalam pengolahan di IPLT
- b. Jumlah energi yang digunakan dalam pengolahan di IPLT
- c. effluen yang ada di dokumen IPLT Keputih

3.4.5 Analisis Data dan Pembahasan

Data primer dan data sekunder yang telah diperoleh diinput kedalam *software* SimaPro 8.5 untuk menganalisis *life cycle assessment* (LCA). Pemodelan dengan menggunakan *life cycle assessment* (LCA) sangat ditentukan oleh pengumpulan data primer dan data sekunder yang akurat. Data primer dan sekunder yang dibutuhkan sesuai dengan penjelasan sebelumnya.

3.5 Penginputan Data dalam *Software* SimaPro 8.5

Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan *software* SimaPro 8.5, maka terlebih dahulu dilakukan proses input data debit lumpur tinja, jumlah energi yang digunakan dan effluen yang dihasilkan dari proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Penentuan tujuan dan cakupan didasarkan kepada tujuan dalam penelitian ini yaitu, menentukan dampak yang ditimbulkan dari proses pengolahan lumpur tinja. Tujuan ini menjadi landasan dalam penggunaan *software* SimaPro. Penginputan data, seperti debit pengolahan yang digunakan dan energi yang dibutuhkan pada setiap unit proses pengolahan. Kemudian memasukan beban organik *biodegradable* yang telah dihitung sebelumnya. Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan analisis menggunakan SimaPro 8.5. Data yang telah didapatkan dianalisis dengan menggunakan metode LCA dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5. *Software* ini dapat mengolah data menjadi grafik. Langkah-langkah analisis dengan metode *life cycle assessment* (LCA):

3.5.1 *Goal and Scope*

Langkah awal adalah menentukan tujuan dari penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan dampak yang ditimbulkan dari proses pengolahan lumpur tinja. Tujuan dari penelitian ini juga didukung dengan penentuan batasan-batasan dan ruang lingkup penelitian. Batasan penelitian dengan menggunakan *ecoinvent system process*. Batasan ini dipilih karena berdasarkan *input* dan *output* yang terjadi pada kegiatan proses pengolahan lumpur tinja. Input penelitian ini merupakan beban organik pengolahan dan penggunaan energi sedangkan output penelitian merupakan dampak lingkungan.

3.5.2 Life Cycle Inventory (LCI)

Untuk tahap kedua pada LCA adalah fase *life cycle inventory* (LCI). LCI melakukan penginputan data berupa beban organik *biodegradable* pengolahan dan energi yang digunakan pada setiap proses pengolahan lumpur tinja. Kemudian memasukan effluen yang dihasilkan. Data beban yang diinput dikonversi dalam satuan massa (kg) dan data jumlah penggunaan energi dalam satuan kWh. Pada langkah ini membutuhkan waktu yang cukup lama dikarenakan kualitas, akurasi dan representatif data sangat berpengaruh terhadap hasil akhir (Boggia et al, 2009). Hasil pada tahap ini akan disajikan dalam sebuah *flow sheet* atau *process tree*.

3.5.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahap ketiga pada LCA adalah tahap *life cycle impact assessment* (LCIA) atau tahap analisis mengenai jenis dan besarnya nilai tiap kategori dampak yang dihasilkan. Dampak lingkungan yang dihasilkan dilakukan penilaian menggunakan metode *Impact 2002+*. *Impact category* yang tersedia pada metode ini adalah *global warming 100a*, *ozone depletion*, *ozone formation*, *acidification*, *terrestrial eutrophication*, *aquatic eutrophication EP*, *human toxicity*, *ecotoxicity*, *hazardous waste*, *slag/ashes*, *bulk waste*, *radioactive waste*, dan 29 *resouces*. Hasil penginputan data *life cycle inventory* diperoleh grafik dari setiap proses dimana menunjukkan nilai *impact assessment* yang menjadi prioritas. Prioritas *impact assessment* pada penelitian ini dipilih berdasarkan besarnya dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan.

Pada tahapan penentuan dampak terdapat beberapa langkah seperti *characterization*, *normalization*, *weighting* dan *single score*.

a. Characterization

Characterization adalah mengalikan masing-masing kategori dampak dengan *characterization factor* untuk menggambarkan kontribusi dampak dari suatu sistem yang dievaluasi. Dimana input dari setiap sitem tersebut mempengaruhi hasil nilai dari masing-masing kategori dampak.

b. Normalization

Normalization merupakan penyetaraan satuan sesuai dengan masing-masing kategori dampak yang telah ada. Kategori dampak yang terpilih pada penelitian ini ditentukan berdasarkan kondisi eksisting pada proses pengolahan lumpur tinja.

c. Weighting

Weighting yaitu melakukan pembobotan pada kategori dampak yang dikalikan dengan *weighting factor* yang bernilai satu.

d. Single Score

Single score yaitu mengelompokkan semua nilai dari kategori dampak berdasarkan tujuan dan ruang lingkup yang ditentukan sebelumnya. Hasil dari *single score* akan didapatkan bagian mana yang berkontribusi pada dampak lingkungan, baik dari material ataupun proses pengolahan.

3.5.4 Interpretasi Data dalam SimaPro 8.5

Tahap akhir dalam LCA dihasilkan alternatif untuk dilakukan perbaikan dalam proses pengolahan. Alternatif yang dihasilkan ada tiga sebagai pertimbangan dalam mengambil keputusan penentuan alternatif terbaik.

3.6 Penentuan Prioritas Alternatif dengan *Analytical Hierarchy Process (AHP)* menggunakan *Expert Choice*

Analisis alternatif dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data dari aplikasi SimaPro 8.5, dimana menghasilkan 14 kategori dampak dan dipilih tiga dampak yaitu *aquatic eutrophication*, *global warming* dan *non renewable energy*. Dari dampak tersebut dapat dilakukan pertimbangan untuk penentuan alternatif perbaikan. Perbaikan dilakukan untuk mengurangi kontribusi dampak ke lingkungan. Prioritas alternatif didapatkan dari sumber literatur jurnal yang akan dianalisis prioritas dengan metode *analytical hierarchy process (AHP)* menggunakan aplikasi *expert choice*. Tahapan dalam analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi kriteria dalam penentuan alternatif
2. Menyusun hirarki dengan kriteria yang dilakukan secara kajian teoritis
3. Menentukan bobot prioritas dengan perbandingan antar alternatif

4. Mengukur konsistensi dimana pemberian nilai dalam perbandingan antar alternatif

3.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir yang dilakukan yaitu, penarikan kesimpulan dan saran dilakukan setelah selesai analisis data dan pembahasan. Kesimpulan yang menyatakan ringkasan dan jawaban dari rumusan masalah penelitian. Saran diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut. Saran yang diberikan merupakan bentuk rekomendasi untuk menyempurnakan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data Sekunder dan Data Primer

4.1.1 Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder didapatkan dari pihak IPLT Keputih meliputi debit pengolahan dan jumlah energi yang digunakan dalam proses pengolahan lumpur tinja. Lumpur tinja yang masuk ke dalam IPLT akan diolah secara aerobik. Debit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan jumlah energi yang digunakan pada proses pengolahan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Debit Pengolahan Lumpur Tinja

| Unit Pengolahan | Q | Q | Q |
|-----------------------------------|---------------------|---------|-----------|
| | m ³ /jam | L/jam | L/hari |
| <i>Solid Separation Chamber</i> | 3,070 | 3070,00 | 73680,00 |
| <i>Balancing Tank</i> | 2,490 | 2490,00 | 59760,00 |
| <i>Sump Well</i> | 0,580 | 580,00 | 13920,00 |
| <i>Oxidation Ditch</i> | 6,973 | 6972,57 | 167341,71 |
| <i>Distribution Box i</i> | 6,973 | 6972,57 | 167341,71 |
| <i>Clarifier</i> | 6,973 | 6972,57 | 167341,71 |
| <i>Distribution Box ii</i> | 3,138 | 3137,85 | 75308,40 |
| <i>Sludge Drying Bed</i> | 1,490 | 1490,48 | 35771,49 |
| ke <i>Mixing Tank</i> | 1,647 | 1647,37 | 39536,91 |
| <i>Polishing Pond</i> | 3,835 | 3835,15 | 92043,60 |
| ke Badan Air | 1,580 | 1580,08 | 37921,96 |
| Resirkulasi ke <i>Mixing Tank</i> | 2,255 | 2255,20 | 54124,80 |
| <i>Mixing Tank</i> | 3,903 | 3902,57 | 93661,71 |

Sumber: Buku Audit IPLT Keputih, 2016

Tabel 4.2 Jumlah Energi pada Proses Pengolahan

| Unit Pengolahan | Energi/hari (kWh) |
|-----------------------|-------------------|
| <i>Sump Well</i> | 41,52 |
| <i>Balancing Tank</i> | 62,88 |

| Unit Pengolahan | Energi/hari (kWh) |
|----------------------------|-------------------|
| <i>Sludge Drying Bed</i> | 141,16 |
| <i>Polishing Pond</i> | 22,56 |
| <i>Distribution Box II</i> | 23,04 |
| Mamot Rotor (OD) | 45,00 |
| <i>Clarifier</i> | 20,05 |

Sumber: Buku Putih IPLT Keputih, 2016

Selain data dari pihak IPLT, data sekunder didapatkan dari studi literatur yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur berasal dari berbagai sumber yaitu jurnal penelitian baik internasional maupun nasional, *text book*, laporan kerja praktik, tugas akhir, tesis, peraturan pemerintah, makalah seminar, dan *website* yang memuat informasi yang berkaitan dengan penelitian ini.

4.1.2 Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan dengan analisis laboratorium hasil sampling kualitas effluen lumpur tinja, kuisioner dan wawancara kepada responden yang memahami kegiatan pengolahan. Sampling dimulai pada bulan Oktober yang berpedoman pada SNI 6989.59:2008 yaitu apabila industri telah memiliki IPAL diambil pada lokasi sebelum dan setelah IPAL dengan memperhatikan waktu detensi (td). Waktu detensi didapatkan dari kriteria desain. Nilai waktu detensi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Waktu Detensi Unit Pengolahan

| Unit Pengolahan | Waktu Detensi | Satuan |
|---------------------------------|---------------|--------|
| <i>Solid Separation Chamber</i> | 5 | Hari |
| <i>Balancing Tank</i> | 2 | Jam |
| <i>Oxidation Ditch</i> | 7 | Hari |
| <i>Clarifier</i> | 2 | Jam |
| <i>Polishing Pond</i> | 1 | Hari |

Sumber:

Herumurti, W dan Dian G. 2016. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya. 5 (1), hal D13-D18.

MetCalf dan Eddy. 2003. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse", 4th edition. New York : McGraw Hill Book Co.

Dari hasil analisis laboratorium akan diketahui nilai effluen masing-masing inlet dan outlet unit pengolahan. Dari sini dapat dilakukan perhitungan beban massa yang masuk pada setiap unit pengolahan dengan debit yang telah didapatkan dari data sekunder. Hasil analisis laboratorium effluen lumpur tinja dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Laboratorium Lumpur Tinja (mg/L)

| Parameter | Solid Separation Chamber | | Sump Well | Balancing Tank | |
|--------------|--------------------------|----------|--------------|----------------|----------|
| | Inlet | Outlet | Inlet/Outlet | Inlet | Outlet |
| BOD | 23032,00 | 14970,00 | 230,00 | 14970,00 | 12090,00 |
| COD | 39040,00 | 25376,00 | 390,00 | 25376,00 | 20490,74 |
| TSS | 15450,00 | 10350,00 | 170,00 | 10350,00 | 10130,00 |
| N | 2901,55 | 2712,50 | 95,67 | 2712,50 | 2712,45 |
| P | 1212,50 | 944,94 | 22,05 | 944,94 | 700,74 |
| pH | 6,55 | 6,85 | 6,40 | 6,85 | 6,70 |
| Minyak Lemak | 640,00 | 416,00 | 32,00 | 416,00 | 464,00 |

Lanjutan Tabel 4.4 Hasil Analisis Laboratorium Lumpur Tinja

| Parameter | Oxidation Ditch | | Clarifier | | Polishing Pond | | Mixing T. |
|--------------|-----------------|---------|-----------|--------|----------------|--------|--------------|
| | Inlet | Outlet | Inlet | Outlet | Inlet | Outlet | Inlet/Outlet |
| BOD | 4396,57 | 4030,00 | 4030,00 | 120,00 | 120,00 | 97,64 | 107,08 |
| COD | 7467,50 | 6832,00 | 6832,00 | 210,00 | 210,00 | 168,00 | 185,73 |
| TSS | 3686,55 | 630,00 | 630,00 | 98,00 | 98,00 | 46,00 | 67,95 |
| N | 988,65 | 32,93 | 32,93 | 30,02 | 30,02 | 15,25 | 21,48 |
| P | 256,70 | 96,70 | 96,70 | 8,25 | 8,25 | 7,50 | 7,82 |
| pH | 6,65 | 6,70 | 6,70 | 6,65 | 6,65 | 6,20 | 6,39 |
| Minyak Lemak | 177,32 | 112,00 | 112,00 | 16,00 | 16,00 | 18,00 | 10,42 |

Dari hasil analisis laboratorium tersebut, didapatkan nilai konsentrasi COD dan BOD yang tinggi. Tingginya konsentrasi BOD dan COD mengakibatkan turunnya konsentrasi oksigen terlarut, hal ini berhubungan dengan tingginya kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan pencemar dalam effluen secara biologis.

Mikroorganisme sangat tergantung pada konsentrasi oksigen terlarut yang cukup, jika tidak maka organisme akan mengalami kesulitan bernafas. Hal tersebut akan mempengaruhi kemampuan mereka untuk melakukan aktifitas menyaring makanan, karena aktifitas menyaring makanan dan oksigen dilakukan secara bersamaan (Pirow dkk., 2001). Nilai parameter

BOD pada unit *oxidation ditch* hanya mengalami penurunan konsentrasi sebesar 8% yang seharusnya bisa meremoval sebesar 80-90% dan pada unit *clarifier* terjadi pengendapan dengan removal 97%. Hal lain yang dapat ditunjukkan oleh nilai BOD dan COD dan perbandingan nilainya yaitu 0,57-0,58. Apabila BOD/COD rendah, maka menunjukkan bahwa effluen mengandung bahan organik maupun anorganik yang sulit terurai oleh mikroorganisme. Selain hal tersebut dapat disebabkan pula oleh bahan tersebut yang bersifat toksik bagi mikroorganisme pengurai senyawa atau unsur kimia yang terdapat dalam effluen IPAL (Roosmini dan Womsiwor, 2009).

Dari nilai konsentrasi tersebut dapat dilakukan perhitungan beban massa pada masing-masing unit pengolahan. Berikut perhitungan beban massa pengolahan setiap unit:

1. Solid Separation Chamber

a. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}]_{\text{Influen}} &= 23032,00 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 73,680 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \times 23032 \text{ mg/L} \\
 &= 1696997 \text{ mg/hari} \\
 &= 1696,997 \text{ kg/hari} \\
 [\text{BOD}]_{\text{Effluen}} &= 14970,00 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \times 14970,0 \text{ mg/L} \\
 &= 1102989600 \text{ mg/hari} \\
 &= 1102,9896 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

b. Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD tipikal dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 pada rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{bCOD}_i] &= 1,64 \times [\text{BOD}_i] \\
 &= 1,64 \times 23032,0 \text{ mg/L} \\
 &= 37772,48 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 73,680 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 73680 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD}_i] \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \times 37772,48 \text{ mg/L} \\
 &= 2783076326 \text{ mg/hari} \\
 &= 2783,076 \text{ kg/hari} \\
 [\text{bCOD}_e] &= 1,64 \times [\text{BOD}_e] \\
 &= 1,64 \times 14970,0 \text{ mg/L} \\
 &= 24550,8 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCOD}_e] \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \times 24550,8 \text{ mg/L} \\
 &= 1808903 \text{ mg/hari} \\
 &= 1808,903 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

c. N Organik Biodegradable

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik}] \text{ Influen} &= 35\% \times [\text{TKN}_i] \\
 &= 0,35 \times 2901,55 \text{ mg/L} \\
 &= 1015,543 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 94\% \times 1015,543 \text{ mg/L} \\
 &= 954,61 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 73,680 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \times 954,61 \text{ mg/L} \\
 &= 7033664,8 \text{ mg/hari} \\
 &= 70,3365 \text{ kg/hari} \\
 [\text{N Organik}] \text{ Effluen} &= 35\% \times [\text{TKN}_e] \\
 &= 0,35 \times 2712,5 \text{ mg/L} \\
 &= 949,375 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 949,375 \text{ mg/L} \\
 &= 892,413 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 73680 \text{ L/hari} \times 892,413 \text{ mg/L} \\
 &= 65752953 \text{ mg/hari} \\
 &= 65,753 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

2. **Balancing Tank**

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$[\text{BOD}] \text{ Influen} = 14970,00 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit (Q)} = 59,760 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 59760 \text{ L/hari}$$

$$\text{Massa BOD Influen} = Q \times [\text{BOD}]$$

$$= 59760 \text{ L/hari} \times 14970,0 \text{ mg/L}$$

$$= 894607200 \text{ mg/hari}$$

$$= 894,607 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{BOD}] \text{ Effluen} = 12090,0 \text{ mg/L}$$

$$\text{Massa BOD Effluen} = Q \times [\text{BOD}]$$

$$= 59760 \text{ L/hari} \times 12090,0 \text{ mg/L}$$

$$= 722498400 \text{ mg/hari}$$

$$= 772,4984 \text{ kg/hari}$$

b. **Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)**

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$[\text{bCODi}] = 1,64 \times [\text{BODi}]$$

$$= 1,64 \times 14970,00 \text{ mg/L}$$

$$= 24550,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit (Q)} = 59,760 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 59760 \text{ L/hari}$$

$$\text{Massa bCOD Influen} = Q \times [\text{bCODi}]$$

$$= 59760 \text{ L/hari} \times 24550,8 \text{ mg/L}$$

$$= 1467155808 \text{ mg/hari}$$

$$= 1467,156 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{bCODE}] = 1,64 \times [\text{BODE}]$$

$$= 1,64 \times 12090 \text{ mg/L}$$

$$= 19827,6 \text{ mg/L}$$

$$\text{Massa bCOD Effluen} = Q \times [\text{bCODE}]$$

$$= 59760 \text{ L/hari} \times 19827,6 \text{ mg/L}$$

$$= 1184897376 \text{ mg/hari}$$

$$= 1184,897 \text{ kg/hari}$$

c. **N Organik Biodegradable**

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N organik terbagi menjadi 2 yaitu N-biodegradable sebesar 94% dan

N-non*biodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003)
 Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable*
 yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik}] \text{ Influen} &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
 &= 0,35 \times 2712,5 \text{ mg/L} \\
 &= 949,375 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 94\% \times 949,375 \text{ mg/L} \\
 &= 892,413 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 59,760 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 59760 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 59760 \text{ L/hari} \times 892,413 \text{ mg/L} \\
 &= 53330571 \text{ mg/hari} \\
 &= 53,331 \text{ kg/hari} \\
 [\text{N Organik}] \text{ Effluen} &= 35\% \times [\text{TKNe}] \\
 &= 0,35 \times 2420,58 \text{ mg/L} \\
 &= 847,203 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 847,203 \text{ mg/L} \\
 &= 796,371 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 59760 \text{ L/hari} \times 796,371 \text{ mg/L} \\
 &= 47591130,96 \text{ mg/hari} \\
 &= 47,591 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

3. Sump Well

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}] \text{ Influen} &= 230,00 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 13,920 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 13920 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 13920 \text{ L/hari} \times 230,00 \text{ mg/L} \\
 &= 3201600 \text{ mg/hari} \\
 &= 3,202 \text{ kg/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Effluen} &= 230,00 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 13920 \text{ L/hari} \times 230,00 \text{ mg/L} \\
 &= 3201600 \text{ mg/hari} \\
 &= 3,202 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

b. Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$\begin{aligned}[\text{bCOD}_i] &= 1,64 \times [\text{BOD}_i] \\&= 1,64 \times 230 \text{ mg/L} \\&= 377,2 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 13,920 \text{ m}^3/\text{hari} \\&= 13920 \text{ L/hari} \\ \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD}_i] \\&= 13920 \text{ L/hari} \times 377,2 \text{ mg/L} \\&= 5250624 \text{ mg/hari} \\&= 5,251 \text{ kg/hari} \\ [\text{bCOD}_e] &= 1,64 \times [\text{BOD}_e] \\&= 1,64 \times 230,00 \text{ mg/L} \\&= 377,2 \text{ mg/L} \\ \text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCOD}_e] \\&= 13920 \text{ L/hari} \times 377,2 \text{ mg/L} \\&= 5250624 \text{ mg/hari} \\&= 5,251 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

c. N Organik Biodegradable

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}[\text{N Organik}] \text{ Influen} &= 35\% \times [\text{TKN}_i] \\&= 0,35 \times 95,67 \text{ mg/L} \\&= 33,4845 \text{ mg/L} \\ [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 94\% \times 33,4845 \text{ mg/L} \\&= 31,475 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 13,920 \text{ m}^3/\text{hari} \\&= 13920 \text{ L/hari} \\ \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\&= 13920 \text{ L/hari} \times 31,475 \text{ mg/L} \\&= 438137,99 \text{ mg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,438 \text{ kg/hari} \\
 [\text{N Organik}] \text{ Effluen} &= 35\% \times [\text{TKNe}] \\
 &= 0,35 \times 95,67 \text{ mg/L} \\
 &= 33,485 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 33,485 \text{ mg/L} \\
 &= 31,47543 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 13920 \text{ L/hari} \times 31,475 \text{ mg/L} \\
 &= 438137,99 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,438 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

4. **Oxidation Ditch**

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}]1 \text{ Influen dari Sump well} &= 230 \text{ mg/L} \\
 [\text{BOD}]2 \text{ Influen dari B.Tank} &= 12090 \text{ mg/L} \\
 [\text{BOD}]3 \text{ Influen dari M.Tank} &= 128,85 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q1) dari Sump well} &= 13920 \text{ L/hari} \\
 \text{Debit (Q2) dari Balancing tank} &= 59760 \text{ L/hari} \\
 \text{Debit (Q3) dari Mixing tank} &= 93661,71 \text{ L/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Influen} &= (Q1 \times [\text{BOD}]1 + Q2 \times [\text{BOD}]2 + \\
 &\quad Q3 \times [\text{BOD}]3) : (Q1 + Q2 + Q3) \\
 &= (13920 \text{ L/hari} \times 230,00 \text{ mg/L} + \\
 &\quad 59760 \text{ L/hari} \times 12090 \text{ mg/L} + 93661,71 \\
 &\quad \text{L/hari} \times 107,079 \text{ mg/L}) : (13920 \text{ L/hari} + \\
 &\quad 59760 \text{ L/hari} + 93661,71 \text{ L/hari}) \\
 &= (3,202 \text{ kg/hari} + 722,45 \text{ kg/hari} + \\
 &\quad 10,029 \text{ kg/hari}) : 167341,71 \text{ L/hari} \\
 &= 735,681 \text{ kg/hari} : 167341,71 \text{ L/hari} \\
 &= 0,0043965 \text{ kg/L} \\
 [\text{BOD}] \text{ Influen} &= 4396,568 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 4396,568 \text{ mg/L} \\
 &= 735729207,3 \text{ mg/hari} \\
 &= 735,729 \text{ kg/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Effluen} &= 4030,0 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 4030,0 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$= 674387091,3 \text{ mg/hari}$$

$$= 674,387 \text{ kg/hari}$$

b. Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$[\text{bCODi}] = 1,64 \times [\text{BODi}]$$

$$= 1,64 \times 4396,568 \text{ mg/L}$$

$$= 7210,371 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit (Q)} = 167,341 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 167341,71 \text{ L/hari}$$

$$\text{Massa bCOD Influen} = Q \times [\text{bCODi}]$$

$$= 167341,71 \text{ L/hari} \times 7210,37 \text{ mg/L}$$

$$= 1206595813 \text{ mg/hari}$$

$$= 1206,596 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{bCODE}] = 1,64 \times [\text{BODE}]$$

$$= 1,64 \times 4030,0 \text{ mg/L}$$

$$= 6609,2 \text{ mg/L}$$

$$\text{Massa bCOD Effluen} = Q \times [\text{bCODE}]$$

$$= 167341,71 \text{ L/hari} \times 6609,2 \text{ mg/L}$$

$$= 1105994830 \text{ mg/hari}$$

$$= 1105,995 \text{ kg/hari}$$

c. N Organik Biodegradable

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$[\text{NOB}]1 \text{ Influen dari S.Well} = 31,475 \text{ mg/L}$$

$$[\text{NOB}]2 \text{ Influen dari B.Tank} = 795,371 \text{ mg/L}$$

$$[\text{NOB}]3 \text{ Influen dari M. Tank} = 7,068 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit (Q1) dari S.Well} = 13920 \text{ L/hari}$$

$$\text{Debit (Q2) dari B.Tank} = 59760 \text{ L/hari}$$

$$\text{Debit (Q3) dari M.Tank} = 93661,71 \text{ L/hari}$$

$$[\text{NOB}] \text{ Influen} = (\text{Q1} \times [\text{NOB}]1 + \text{Q2} \times [\text{NOB}]2 + \text{Q3} \times [\text{NOB}]3) : (\text{Q1} + \text{Q2} + \text{Q3})$$

$$\begin{aligned}
 &= (13920 \text{ L/hari} \times 31,475 \text{ mg/L} + 59760 \\
 &\text{L/hari} \times 795,371 \text{ mg/L} + 93661,71 \text{ L/hari} \\
 &7,068 \text{ mg/L}) : (13920 \text{ L/hari} + 59760 \\
 &\text{L/hari} + 93661,71 \text{ L/hari}) \\
 &= (0,438132 \text{ kg/hari} + 47,591 \text{ kg/hari} + \\
 &0,662 \text{ kg/hari}) : 167341,71 \text{ L/hari} \\
 &= 48,69114 \text{ kg/hari} : 167341,71 \text{ L/hari} \\
 &= 290,969 \text{ mg/L} \\
 \text{[NOB] Influen} &= 290,969 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 290,969 \text{ mg/L} \\
 &= 48691250,02 \text{ mg/hari} \\
 &= 48,691 \text{ kg/hari} \\
 \text{[N Organik] Effluen} &= 35\% \times [\text{TKNe}] \\
 &= 0,35 \times 32,93 \text{ mg/L} \\
 &= 11,5255 \text{ mg/L} \\
 \text{[N Organik Bio] Effluen} &= 94\% \times 11,5255 \text{ mg/L} \\
 &= 10,834 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 10,834 \text{ mg/L} \\
 &= 1812980,086 \text{ mg/hari} \\
 &= 1,813 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

5. **Distribution Box I**

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}
 \text{[BOD] Influen} &= 4030,0 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 4030,0 \text{ mg/L} \\
 &= 674387091,3 \text{ mg/hari} \\
 &= 674,387 \text{ kg/hari} \\
 \text{[BOD] Effluen} &= 4030,0 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 4030,0 \text{ mg/L} \\
 &= 674387091,3 \text{ mg/hari} \\
 &= 674,387 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

b. Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu :

$$\begin{aligned}[\text{bCOD}_i] &= 1,64 \times [\text{BOD}_i] \\&= 1,64 \times 4030,0 \text{ mg/L} \\&= 6609,2 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\&= 167341,71 \text{ L/hari} \\ \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD}_i] \\&= 167341,71 \text{ L/hari} \times 6609,2 \text{ mg/L} \\&= 1105994830 \text{ mg/hari} \\&= 1105,995 \text{ kg/hari} \\ [\text{bCOD}_e] &= 1,64 \times [\text{BOD}_e] \\&= 1,64 \times 4030,0 \text{ mg/L} \\&= 6609,2 \text{ mg/L} \\ \text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCOD}_e] \\&= 167341,71 \text{ L/hari} \times 6609,2 \text{ mg/L} \\&= 1105994830 \text{ mg/hari} \\&= 1105,995 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

c. N Organik Biodegradable

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}[\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 290,969 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\&= 167341,71 \text{ L/hari} \\ \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\&= 167341,71 \text{ L/hari} \times 290,969 \text{ mg/L} \\&= 48691250,02 \text{ mg/hari} \\&= 48,69125 \text{ kg/hari} \\ [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 290,969 \text{ mg/L} \\ \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\&= 167341,71 \text{ L/hari} \times 10,834 \text{ mg/L} \\&= 1,813 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

6. Clarifier

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}[\text{BOD}] \text{ Influen} &= 4030 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 167341,71 \text{ L/hari} \\ \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 4030 \text{ mg/L} \\ &= 674749791,3 \text{ mg/hari} \\ &= 674,75 \text{ kg/hari} \\ [\text{BOD}] \text{ Effluen} &= 120 \text{ mg/L} \\ \text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 120 \text{ mg/L} \\ &= 20081005,2 \text{ mg/hari} \\ &= 20,081 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

b. **Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)**

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$\begin{aligned}[\text{bCODi}] &= 1,64 \times [\text{BODi}] \\ &= 1,64 \times 4030 \text{ mg/L} \\ &= 6609,2 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 167341,71 \text{ L/hari} \\ \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCODi}] \\ &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 6609,2 \text{ mg/L} \\ &= 1105994830 \text{ mg/hari} \\ &= 1105,995 \text{ kg/hari} \\ [\text{bCODE}] &= 1,64 \times [\text{BODE}] \\ &= 1,64 \times 120 \text{ mg/L} \\ &= 196,8 \text{ mg/L} \\ \text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCODE}] \\ &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\ &= 32932848,53 \text{ mg/hari} \\ &= 32,933 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

c. **N Organik Biodegradable**

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan

N-nonbiodegradable sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003).
 Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik}] \text{ Influen} &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
 &= 0,35 \times 32,93 \text{ mg/L} \\
 &= 11,526 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 94\% \times 11,526 \text{ mg/L} \\
 &= 10,834 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 167,341 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 10,834 \text{ mg/L} \\
 &= 1812980,086 \text{ mg/hari} \\
 &= 1,813 \text{ kg/hari} \\
 [\text{N Organik}] \text{ Effluen} &= 35\% \times [\text{TKNe}] \\
 &= 0,35 \times 30,02 \text{ mg/L} \\
 &= 10,057 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 10,057 \text{ mg/L} \\
 &= 9,877 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 167341,71 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
 &= 1652834,07 \text{ mg/hari} \\
 &= 1,653 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

7. **Polishing Pond**

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}] \text{ Influen} &= 120,0 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 60\% \times Q \text{ Clarifier} \\
 &= 0,6 \times 167341,71 \text{ L/hari} \\
 &= 92043,60 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 92043,60 \text{ L/hari} \times 120,0 \text{ mg/L} \\
 &= 11045232 \text{ mg/hari} \\
 &= 11,045 \text{ kg/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Effluen} &= 97,64 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 92043,60 \text{ L/hari} \times 97,64 \text{ mg/L} \\
 &= 8987137,104 \text{ mg/hari} \\
 &= 8,987 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit (Q) ke Badan Air} &= 40\% \times Q \text{ Polishing pond} \\ &= 40\% \times 92043,60 \text{ L/hari} \\ &= 37921,96 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa ke Badan Air} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 37921,96 \text{ L/hari} \times 97,64 \text{ mg/L} \\ &= 3702700 \text{ mg/hari} \\ &= 3,703 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit (Q) ke Mixing tank} &= 60\% \times Q \text{ Polishing pond} \\ &= 60\% \times 92043,60 \text{ L/hari} \\ &= 54124,8 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa ke MT} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 54124,8 \text{ L/hari} \times 97,64 \text{ mg/L} \\ &= 5284745,47 \text{ mg/hari} \\ &= 5,285 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

b. Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$\begin{aligned}[\text{bCODi}] &= 1,64 \times [\text{BODi}] \\ &= 1,64 \times 120 \text{ mg/L} \\ &= 196,8 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Debit (Q)} = 92043,60 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCODi}] \\ &= 92043,60 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\ &= 18114180,48 \text{ mg/hari} \\ &= 18,114 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{bCODE}] &= 1,64 \times [\text{BODE}] \\ &= 1,64 \times 97,64 \text{ mg/L} \\ &= 160,130 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCODE}] \\ &= 92043,60 \text{ L/hari} \times 160,130 \text{ mg/L} \\ &= 14738941,67 \text{ mg/hari} \\ &= 14,739 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\text{Debit (Q) ke Badan Air} = 37921,96 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa bCOD B.Air} &= Q \times [\text{bCODi}] \\ &= 37921,96 \text{ L/hari} \times 160,130 \text{ mg/L} \\ &= 6072443,455 \text{ mg/hari} \\ &= 6,072 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q) ke Resirkulasi} &= 54124,8 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa bCOD Resirkulasi} &= Q \times [\text{bCOD}_i] \\
 &= 54124,8 \text{ L/hari} \times 160,130 \text{ mg/L} \\
 &= 8667004,224 \text{ mg/hari} \\
 &= 8,667 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

c. N Organik *Biodegradable*

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N Organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-non*biodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik}] \text{ Influen} &= 35\% \times [\text{TKN}_i] \\
 &= 0,35 \times 30,02 \text{ mg/L} \\
 &= 10,507 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 94\% \times 10,507 \text{ mg/L} \\
 &= 9,877 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 92043,60 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 92043,60 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
 &= 909114,637 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,909 \text{ kg/hari} \\
 [\text{N Organik}] \text{ Effluen} &= 35\% \times [\text{TKN}_e] \\
 &= 0,35 \times 15,25 \text{ mg/L} \\
 &= 5,338 \text{ mg/L} \\
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 5,338 \text{ mg/L} \\
 &= 5,01725 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa N Organik Bio} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 92043,60 \text{ L/hari} \times 5,01725 \text{ mg/L} \\
 &= 461805,752 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,462 \text{ kg/hari} \\
 Q \text{ ke Badan Air} &= 40\% \times Q \text{ Polishing pond} \\
 &= 0,40 \times 92043,60 \text{ L/hari} \\
 &= 37921,96 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa ke Badan Air} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 37921,96 \text{ L/hari} \times 5,01725 \text{ mg/L} \\
 &= 190263,954 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,19026 \text{ kg/hari} \\
 Q \text{ untuk Resirkulasi} &= 60\% \times Q \text{ Polishing pond}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,60 \times 92043,60 \text{ L/hari} \\
 &= 54124,8 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa untuk Resirkulasi} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 54124,8 \text{ L/hari} \times 5,01725 \text{ mg/L} \\
 &= 271557,653 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,272 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

8. Distribution Box II

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}] \text{ Influen} &= 120 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 40\% \times Q \text{ Clarifier} \\
 &= 0,4 \times 167341,71 \text{ L/hari} \\
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \times 120 \text{ mg/L} \\
 &= 9037008 \text{ mg/hari} \\
 &= 9,037 \text{ kg/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Effluen} &= 120 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD Effluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \times 120 \text{ mg/L} \\
 &= 9037008 \text{ mg/hari} \\
 &= 9,037 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

b. **Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)**

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{bCODi}] &= 1,64 \times [\text{BODi}] \\
 &= 1,64 \times 120 \text{ mg/L} \\
 &= 196,8 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 75308,40 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCODi}] \\
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\
 &= 14820693,12 \text{ mg/hari} \\
 &= 14,821 \text{ kg/hari} \\
 [\text{bCODe}] &= 1,64 \times [\text{BODe}] \\
 &= 1,64 \times 120 \text{ mg/L} \\
 &= 196,8 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCODe}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\
 &= 14820693,12 \text{ mg/hari} \\
 &= 14,821 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q) ke M.Tank} &= 52,5\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
 &= 0,525 \times 75308,40 \text{ L/hari} \\
 &= 39536,91 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa ke M.Tank} &= Q \times [\text{bCODE}] \\
 &= 39536,91 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\
 &= 7780863,89 \text{ mg/hari} \\
 &= 7,781 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q) ke SDB} &= 47,5\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
 &= 0,475 \times 75308,40 \text{ L/hari} \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa ke SDB} &= Q \times [\text{bCODE}] \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\
 &= 7039829,23 \text{ mg/hari} \\
 &= 7,040 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

c. N Organik *Biodegradable*

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N Organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik}] \text{ Influen} &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
 &= 0,35 \times 30,02 \text{ mg/L} \\
 &= 10,507 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= 94\% \times 10,507 \text{ mg/L} \\
 &= 9,877 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\text{Debit (Q)} = 75308,40 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa N Organik Bio In} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
 &= 743821,067 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,744 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik}] \text{ Effluen} &= 35\% \times [\text{TKNe}] \\
 &= 0,35 \times 30,02 \text{ mg/L} \\
 &= 10,507 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{N Organik Bio}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 10,507 \text{ mg/L} \\
 &= 9,877 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q)} &= 75308,40 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa N Organik Bio Eff} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 75308,40 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
 &= 743821,067 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,744 \text{ kg/hari} \\
 \text{Debit (Q) ke M.Tank} &= 52,5\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
 &= 0,525 \times 75308,40 \text{ L/hari} \\
 &= 39536,91 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa ke M.Tank} &= Q \times [\text{bCODE}] \\
 &= 39536,91 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
 &= 390506,06 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,39 \text{ kg/hari} \\
 \text{Debit (Q) ke SDB} &= 47,5\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
 &= 0,475 \times 75308,40 \text{ L/hari} \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa ke SDB} &= Q \times [\text{bCODE}] \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
 &= 0,353 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

9. Mixing Tank

a. **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q)} &= 52,5\% \text{ dari DB II} + 58,8\% \text{ dari PP} \\
 &= 52,5\% \times 75308,40 \text{ L/hari} + 58,8\% \times 92043,60 \text{ L/hari} \\
 &= 93661,71 \text{ L/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Influen} &= [(Q \text{ DB II} \times [\text{BOD}] \text{ DB II}) + (Q \text{ ke MT} \times [\text{BOD}] \text{ ke MT})] : (Q \text{ DB II} + Q \text{ ke MT}) \\
 &= [(75308,40 \text{ L/hari} \times 120 \text{ mg/L}) + (92043,60 \text{ L/hari} \times 97,64 \text{ mg/L})] : (75308,40 \text{ L/hari} + 92043,60 \text{ L/hari}) \\
 &= 107,079 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 93661,71 \text{ L/hari} \times 107,079 \text{ mg/L} \\
 &= 10,029 \text{ kg/hari} \\
 [\text{BOD}] \text{ Effluen} &= 1207,079 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa Effluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 93661,71 \text{ L/hari} \times 107,079 \text{ mg/L} \\
 &= 10,029 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

b. Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

$$\begin{aligned}[\text{bCODi}] &= 1,64 \times [\text{BODi}] \\&= 1,64 \times 107,079 \text{ mg/L} \\&= 175,609 \text{ mg/L} \\ \text{Debit (Q)} &= 93661,71 \text{ L/hari} \\ \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCODi}] \\&= 93661,71 \text{ L/hari} \times 175,609 \text{ mg/L} \\&= 16447839,23 \text{ mg/hari} \\&= 16,448 \text{ kg/hari} \\ [\text{bCODE}] &= 1,64 \times [\text{BODE}] \\&= 1,64 \times 107,079 \text{ mg/L} \\&= 175,609 \text{ mg/L} \\ \text{Massa bCOD Effluen} &= Q \times [\text{bCODE}] \\&= 93661,71 \text{ L/hari} \times 175,609 \text{ mg/L} \\&= 16447839,23 \text{ mg/hari} \\&= 16,448 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

c. N Organik Biodegradable

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai N Organik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Debit (Q)} &= 52,5\% \text{ dari DB II} + 58,8\% \text{ dari PP} \\&= 52,5\% \times 75308,40 \text{ L/hari} + 58,8\% \times 92043,60 \text{ L/hari} \\&= 93661,71 \text{ L/hari} \\ [\text{N Organik Bio}] \text{ Influen} &= [(Q \text{ DB II} \times [\text{NOB}] \text{ DB II}) + (Q \text{ ke MT} \times [\text{NOB}] \text{ ke MT})] : (Q \text{ DB II} + Q \text{ ke MT}) \\&= [(75308,40 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L}) + (92043,60 \text{ L/hari} \times 5,017 \text{ mg/L})] : (75308,4 \text{ L/hari} + 92043,6 \text{ L/hari}) \\&= 7,068 \text{ mg/L} \\ \text{Massa Influen} &= Q \times [\text{N Organik Bio}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 93661,71 \text{ L/hari} \times 7,068 \text{ mg/L} \\
 &= 662000,97 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,662 \text{ kg/hari} \\
 \text{[N Organik Bio] Effluen} &= 7,068 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa Effluen} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
 &= 93661,71 \text{ L/hari} \times 7,068 \text{ mg/L} \\
 &= 662000,97 \text{ mg/hari} \\
 &= 0,662 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

10. ***Sludge Drying Bed***

a. ***Biochemical Oxygen Demand (BOD)***

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q)} &= 47,5\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
 &= 47,5\% \times 75308,4 \text{ L/hari} \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari} \\
 \text{[BOD] Influen} &= 120 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa BOD ke SDB} &= Q \times [\text{BOD}] \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari} \times 120 \text{ mg/L} \\
 &= 4292578,8 \text{ mg/hari} \\
 &= 4,293 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

b. ***Biodegradable Chemical Oxygen Demand (bCOD)***

Pada kriteria desain air limbah domestik nilai bCOD dipilih dengan rasio bCOD/BOD adalah 1,64 dengan rentang nilai 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai bCOD yaitu:

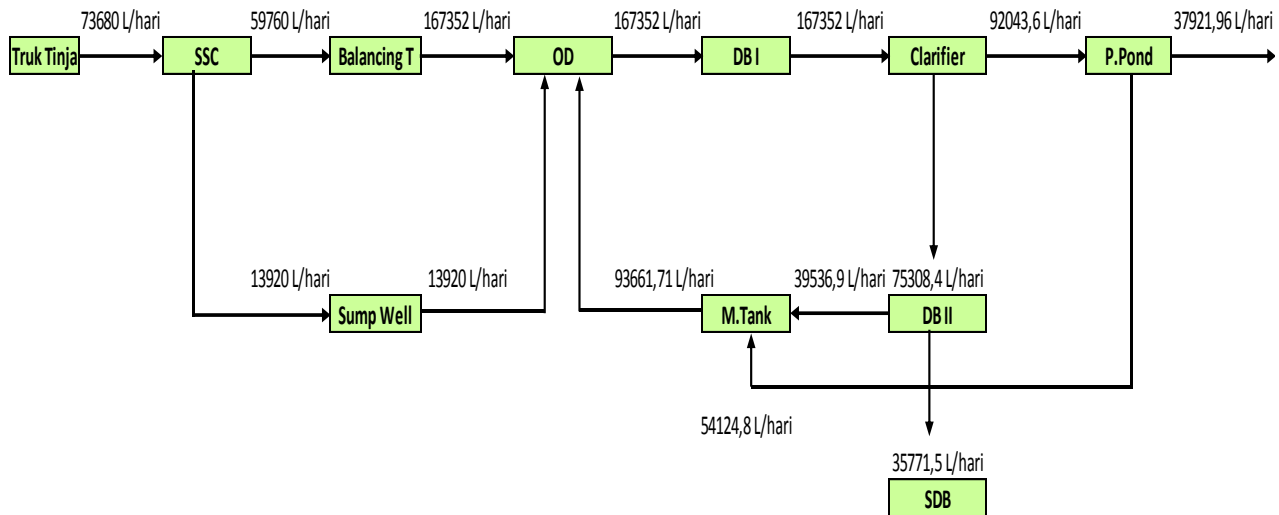
$$\begin{aligned}
 [\text{bCODi}] &= 1,64 \times [\text{BODi}] \\
 &= 1,64 \times 120 \text{ mg/L} \\
 &= 196,8 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit (Q)} &= 35771,49 \text{ L/hari} \\
 \text{Massa bCOD ke SDB} &= Q \times [\text{bCODi}] \\
 &= 35771,49 \text{ L/hari} \times 196,8 \text{ mg/L} \\
 &= 7039829,23 \text{ mg/hari} \\
 &= 7,040 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

c. ***N Organik Biodegradable***

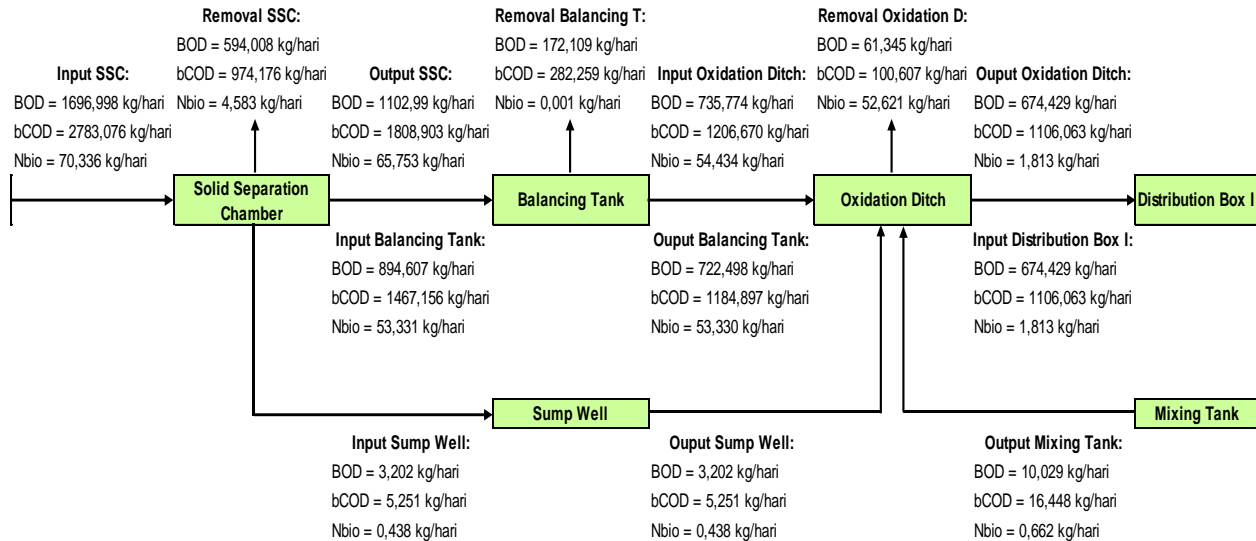
Pada kriteria desain air limbah domestik nilai N Organik sebesar 30%-40% dalam Total N (TKN). Nilai Norganik terbagi menjadi 2 yaitu N-*biodegradable* sebesar 94% dan N-*nonbiodegradable* sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Dari sini dapat ditentukan nilai N organik *biodegradable* yaitu:

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik Bio}] &= 9,877 \text{ mg/L} \\
\text{Debit (Q)} &= 35771,49 \text{ L/hari} \\
\text{Massa N Organik ke SDB} &= Q \times [\text{N Organik Bio}] \\
&= 35771,49 \text{ L/hari} \times 9,877 \text{ mg/L} \\
&= 353315,0067 \text{ mg/hari} \\
&= 0,353 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

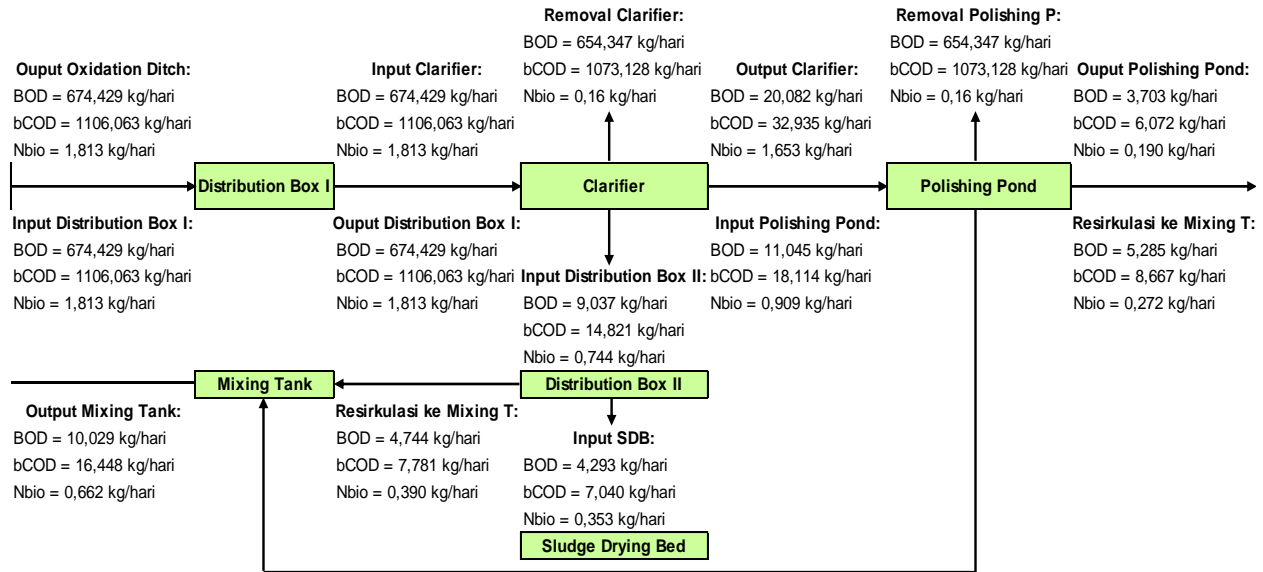
Dari hasil perhitungan diatas dibuat gambar debit pengolahan pada Gambar 4.1 dan gambar *mass balance* proses pengolahan lumpur tinja yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Debit Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih



Gambar 4.2 *Mass Balance* Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT



Lanjutan Gambar 4.2 *Mass Balance* Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT

Untuk data primer dari kuisioner akan dibagikan setelah diketahui dampak dari kegiatan proses pengolahan dengan studi literatur yang berkaitan dengan sistem kegiatan pengolahan. Responden kuisioner yang dipilih adalah responden dengan tingkat pendidikan minimal D3 dan memahami proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Responden yang diwawancarai akan memilih alternatif yang memungkinkan untuk diaplikasikan pada pengolahan untuk mengurangi dampak yang terjadi. Kuisioner yang diisikan terlampir pada lampiran.

4.2 Pengolahan *Life Cycle Assessment* dengan *Software SimaPro 8.5*

Pengolahan data penilaian dampak lingkungan dengan *software SimaPro 8.5* diperlukan beberapa tahapan yakni penentuan *goal and scope*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle assessment* (LCIA), dan *interpretation data*. Lingkup penelitian ini terbatas hanya pada proses pengolahan limbah tinja organik *biodegradable*.

Pada tahapan *life cycle inventory* (LCI) dilakukan input data berupa material pengolahan dan penggunaan energi untuk proses pengolahan tinja. Pada tahap *life cycle impact assessment* (LCIA) yaitu tahap penentuan dampak lingkungan dilakukan dengan beberapa tahapan yakni *characterization*, *normalization*, *weighting* dan *single score*. Hasil dari interpretasi data akan menunjukkan dampak dari sebuah proses untuk selanjutnya dilakukan upaya perbaikan. Data yang menjadi inputan pada penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari pihak IPLT dan hasil dari sampling. Salah satu kelemahan *software SimaPro* adalah tidak semua *database* tersedia sehingga harus menggunakan pendekatan dengan literatur dan melengkapi secara pribadi.

4.3 Penentuan *Goal* dan *Scope*

Langkah pertama adalah menentukan definisi tujuan dan ruang lingkup penelitian. Tahapan ini membantu konsistensi dari penelitian LCA. Tujuan pada penelitian ini adalah analisis kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan metode *life cycle assessment* (LCA).

Alasan untuk melaksanakan penelitian harus diuraikan dengan jelas. Batasan penelitian menentukan unit proses mana yang tercakup dalam penelitian LCA. Berikut tahap penentuan *goal* dapat dilihat pada Gambar 4.3.

The screenshot shows the 'Goal and scope' wizard in SimaPro 8.5. The left sidebar lists various sections, with 'Goal and scope' selected. The main area contains the following fields:

- Name:** Analisis Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih
- Date:** 28/09/2018
- Author:** Elvin Nur Nadhifatin
- Comment:**
 - 1. Bagaimana dampak dari proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)?
 - 2. Bagaimana cara mengurangi dampak dari proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan Life Cycle Assessment(LCA)?
- LCA type:** Internal LCA
- ISO 14040:** Clear description of the goal and scope. ISO 14041 specifies recommended choices. ISO 14042 sets minimum standards for impact assessment. Sensitivity analysis is very important.
- Goal:**
 - 1. Menentukan dampak dari proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)
 - 2. Menentukan cara mengurangi dampak dari proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)
- Reason:** (Empty field)

At the bottom right, there are buttons for 'Save changes' and 'Undo changes'. The status bar at the bottom indicates 'Faculty ITSN 001' and '8.5.2.0 Faculty'.

Gambar 4.3 Penentuan *Goal* pada *Software SimaPro 8.5*

Selanjutnya menentukan *scope* atau batasan penelitian yang akan dikaji pada Gambar 4.3. Pada tahap ini *scope* penelitian yang dipilih adalah *ecoinvent database*.

Ecoinvent adalah database dalam SimaPro yang bersifat transparansi dan konsistensi. *Database ecoinvent* terdiri dari data inventarisasi yang mencakup semua kegiatan, dimana setiap dataset tersebut menggambarkan aktivitas pada tingkat proses unit. *Database ecoinvent* menyediakan data-data selama proses inventarisasi data dan memberikan informasi terkait dampak lingkungan yang ditimbulkan. *Database ecoinvent* memungkinkan perusahaan untuk memproduksi produk yang ramah lingkungan dan membantu dalam penyusunan dan penerapan kebijakan yang direncanakan. Hasil dari *database ecoinvent* dapat digunakan untuk penilaian komparatif dengan tujuan untuk mengidentifikasi barang atau jasa yang lebih ramah lingkungan.

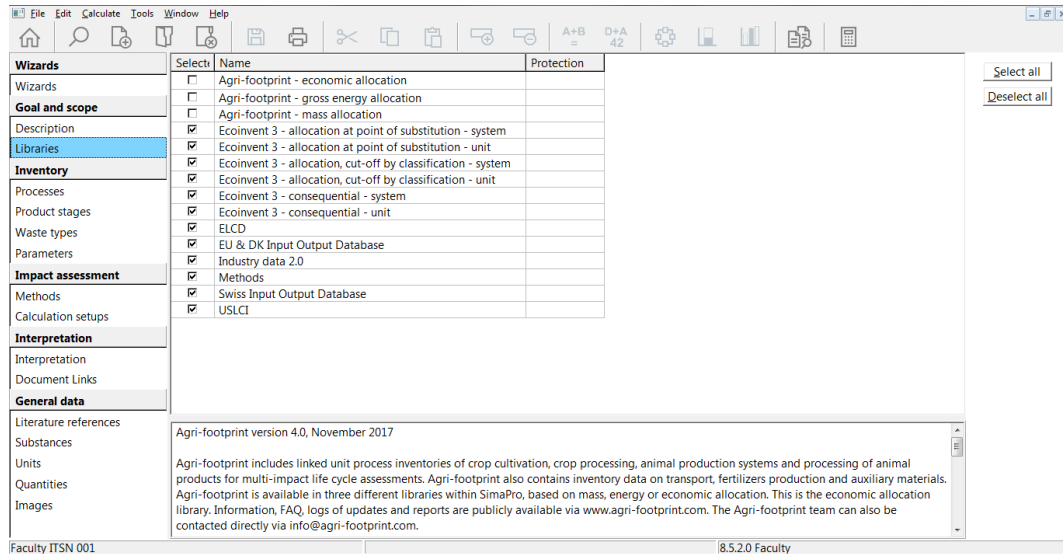
Scope ini dipilih dikarenakan fokus terhadap dua hal diantaranya :

1. Input

Input data terdiri dari dua yaitu data latar depan, yang mengacu pada data spesifik untuk memodelkan sistem dengan menggambarkan sistem produksi tertentu. Data latar belakang yaitu data untuk produksi bahan generik, energi, transportasi dan pengelolaan limbah. Data ini dapat ditemukan di basis data SimaPro dan dari literatur. Pada proses pengolahan lumpur tinja di setiap unit instalasi mengolah beban organik *biodegradable* dan menggunakan listrik sebagai sumber energi. Contoh penggunaan mamot rotor pada unit menuju *oxidation ditch*, penggunaan pompa resirkulasi dari *polishing pond* menuju unit *mixing tank* dan penggunaan sumber energi listrik untuk unit lainnya.

2. Output

Output yang dimaksud adalah dampak lingkungan. Dampak yang dipilih pada penelitian ini adalah *aquatic eutrophication*, *global warming* dan *non renewable energy* dari 14 kategori dampak yang ditimbulkan dari proses pengolahan lumpur tinja. Tahap penentuan *scope* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Penentuan *Scope* pada *Software SimaPro 8.5*

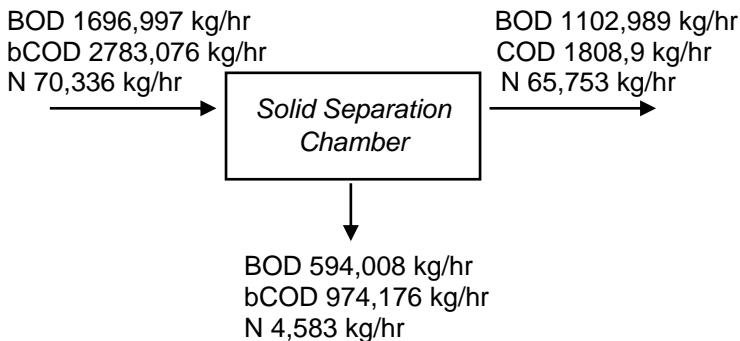
4.4 Penentuan *Life Cycle Inventory (LCI)*

Pada tahap ini penginputan data, seperti beban pengolahan proses dan penggunaan energi listrik pada unit pengolahan selama proses. Data sekunder yang digunakan secara spesifik didapat dari pihak IPLT Keputih meliputi debit pengolahan dan jumlah energi listrik yang digunakan.

Data primer didapatkan dari hasil sampling dan perhitungan beban pengolahan. Data yang dimasukkan dalam jumlah per hari dan dianggap data per hari dalam satu bulan konstan. Hasil dari tahap ini nantinya akan dapat digambarkan dalam sebuah *flow sheet* atau *process tree*.

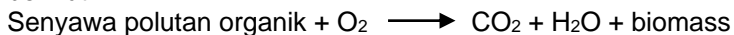
4.4.1 Life Cycle Inventory (LCI) pada Solid Separation Chamber

Solid separation chamber merupakan unit awal dalam proses pengolahan tinja. Lumpur tinja dari truk tinja mengalir secara gravitasi ke unit ini. Pada awal masuk, lumpur tinja akan mengalami proses penyaringan oleh *barscreen* yang kemudian terjadi proses filtrasi oleh pasir dan kerikil di dalam unit *solid separation chamber*. Supernatan akan mengalir melalui pintu *gutter* menuju unit ekualisasi secara gravitasi, filtrat yang masuk melalui pipa *underdrain* di dasar unit *solid separation chamber* akan mengalir menuju *sump well* secara gravitasi. Data yang digunakan berdasarkan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Material Balance pada Solid Separation Chamber

Pada *material balance* di unit *solid separation chamber* (SSC) terjadi proses degradasi bahan organik *biodegradable*. Persamaan reaksi penguraian bahan organik adalah sebagai berikut :



Sebagian besar IPAL yang menggunakan proses pengolahan secara aerob, akan berkontribusi terhadap gas

rumah kaca yang didominasi oleh gas karbondioksida (Monteith, 2005). Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang.

Emisi gas yang dihasilkan dari alat penunjang seperti pembangkit listrik tersebut dapat mencapai dua per tiga dari total emisi yang dihasilkan oleh suatu IPAL (Singh dan Kansal, 2018). Prediksi presentase emisi CO₂ yang berpotensi menyumbang pemanasan bumi (*global warming*) yang ditimbulkan oleh beberapa sektor ekonomi dunia salah satunya dihasilkan dari pembangkit listrik sebesar 39% (Bennaceur, 2004).

Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukan konversi pada material pada unit SSC :

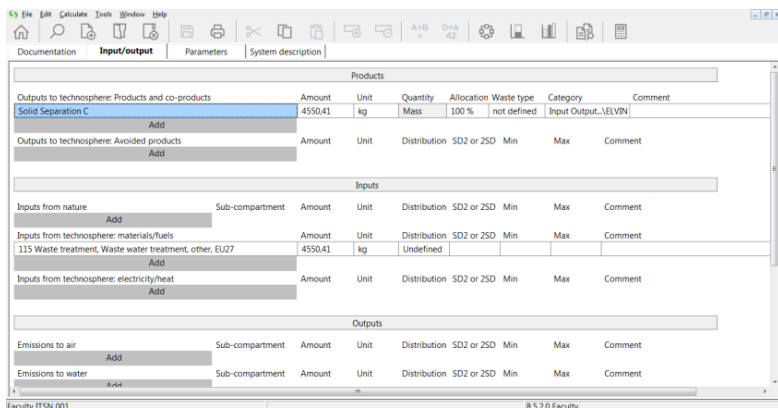
- Debit Pengolahan = 3,07 m³/jam
= 73.680 L/hari
- BOD = 23.032 mg/L
- bCOD = 37.772,48 mg/L
- N organik Bio = 954,61 mg/L

Life cycle inventory dari proses di *solid separation chamber* dapat dilihat pada Tabel 4.5. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.5 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Solid Separation Chamber*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 73680 | L/hari |
| BOD | 23032 | mg/L |
| bCOD | 37772,48 | mg/L |
| N Organik Bio | 954,61 | mg/L |

Untuk melakukan input pada *software* SimaPro digunakan data material maupun energi yang digunakan dalam proses pengolahan. Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.6.

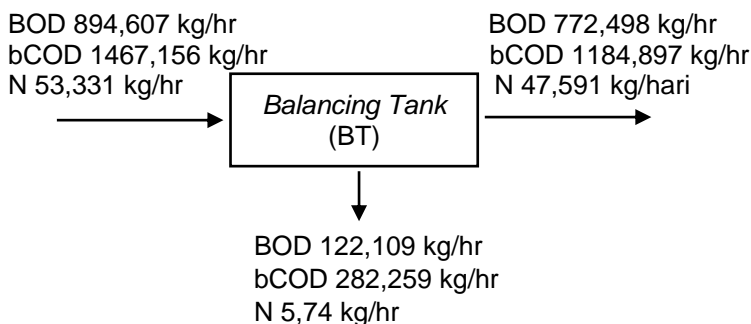


Gambar 4.6 Input Data SimaPro Unit *Solid Separation Chamber*

Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan. Energi yang digunakan pada IPLT Keputih menggunakan listrik dari PLN.

4.4.2 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Balancing Tank*

Balancing tank merupakan unit kedua dalam proses pengolahan tinja dimana *overflow* dari bak SSC akan mengalir menuju *balancing tank*. Lumpur tinja dari bak SSC mengalir secara gravitasi ke unit ini. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan sebelumnya digambarkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Material Balance pada *Balancing Tank*

Pada *material balance* di unit *balancing tank* (BT) proses degradasi bahan organik *biodegradable* tetap berjalan selama terdapat oksigen bebas walaupun tidak signifikan. Persamaan reaksi penguraian bahan organik adalah sebagai berikut :

Senyawa polutan organik + O₂ → CO₂ + H₂O + biomassa

Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang. Emisi gas yang dihasilkan dari alat penunjang seperti pembangkit listrik tersebut dapat mencapai dua per tiga dari total emisi yang dihasilkan oleh suatu IPAL (Singh dan Kansal, 2018). Prediksi presentase emisi CO₂ yang berpotensi menyumbang pemanasan bumi (*global warming*) yang ditimbulkan oleh beberapa sektor ekonomi dunia salah satunya dihasilkan dari pembangkit listrik sebesar 39% (Bennaceur, 2004). Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukukan konversi pada material pada unit *balancing tank* :

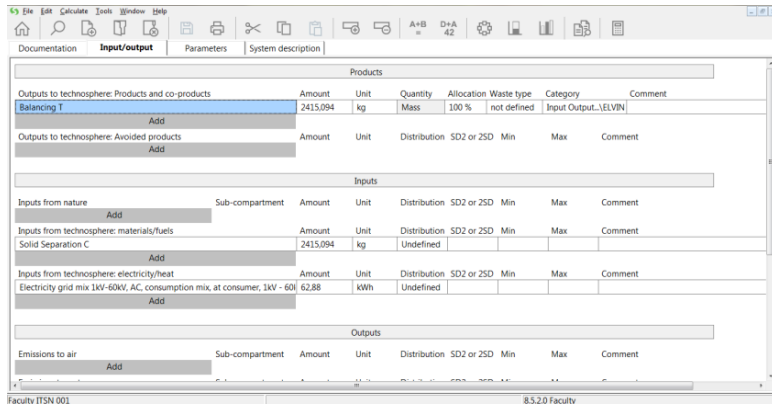
- Debit Pengolahan = 2,49 m³/jam
= 59760 L/hari
- BOD = 14970 mg/L
- bCOD = 24550,8 mg/L
- N organik Bio = 892,4125 mg/L
- Pompa = 62,88 kWh

Life cycle inventory dari proses di *balancing tank* dapat dilihat pada Tabel 4.6. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.6 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Balancing Tank*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 59760,00 | L/hari |
| BOD | 14970 | mg/L |
| bCOD | 24550,8 | mg/L |
| N Organik Bio | 892,4125 | mg/L |
| Pompa | 62,88 | kWh |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.8.

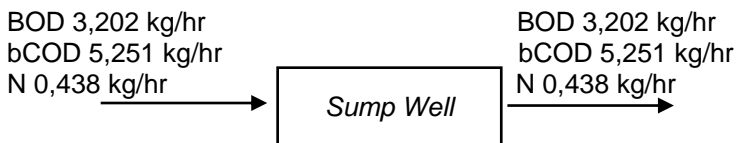


Gambar 4.8 Input Data SimaPro *Balancing Tank*

Beberapa data yang diinputkan dalam aplikasi *software* SimaPro terdapat keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian satuan atau menggunakan satuan yang mendekati.

4.4.3 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Sump Well*

Sump well merupakan sumur yang menampung filtrat dari hasil penyaringan di unit SSC melewati pipa *underdrain*. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Material Balance* pada *Sump Well*

Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang. Emisi gas yang dihasilkan dari alat penunjang seperti pembangkit listrik tersebut dapat mencapai dua per tiga dari total emisi yang dihasilkan oleh suatu IPAL (Singh dan Kansal, 2018).

Sektor limbah (limbah padat dan limbah cair) turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca ke atmosfer antara 3-4% (IPCC, 2006). Prediksi presentase emisi CO₂ yang berpotensi menyumbang pemanasan bumi (*global warming*) yang ditimbulkan oleh beberapa sektor ekonomi dunia salah satunya dihasilkan dari pembangkit listrik sebesar 39% (Bennaceur, 2004). Gas CO₂ sebesar 55% menjadi kontribusi utama dalam pemanasan global (Samiaji, 2009).

Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukukan konversi pada material pada unit *sump well*.

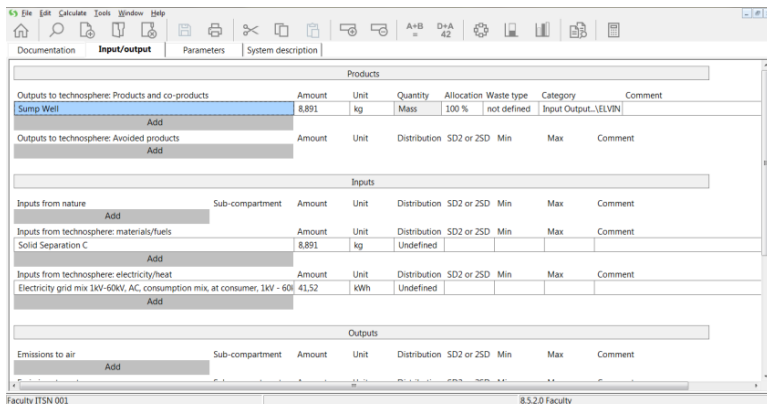
- Debit = 0,58 m³/jam
= 13920 L/hari
- BOD = 230 mg/L
- bCOD = 377,2 mg/L
- N organik Bio = 31,47543 mg/L
- Pompa = 41,52 kWh

Life cycle inventory dari proses di *sump well* dapat dilihat pada Tabel 4.7. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.7 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Sump Well*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 13920,00 | L/hari |
| BOD | 230 | mg/L |
| bCOD | 377,2 | mg/L |
| N Organik Bio | 31,47543 | mg/L |
| Pompa | 41,52 | kWh |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.

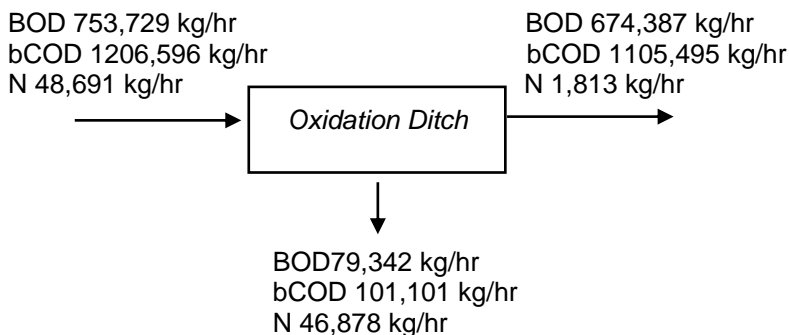


Gambar 4.10 Input Data SimaPro *Sump Well*

Beberapa data yang diinputkan dalam aplikasi software SimaPro terdapat keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian satuan atau menggunakan satuan yang mendekati.

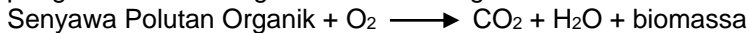
4.4.4 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Oxidation Ditch*

Oxidation ditch merupakan unit yang terjadi proses biologis secara aerobik dan anoksik. Pengolahan disini dibantu dengan mamot rotor untuk mengaduk dan mendorong lumpur di OD sehingga lumpur dapat mengalir dalam parit oksidasi. Data hasil perhitungan beban pengolahan sebelumnya digambarkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 *Material Balance* pada Unit *Oxidation Ditch*

Pada *material balance* di unit *oxidation ditch* terjadi proses degradasi bahan organik *biodegradable*. Persamaan reaksi penguraian bahan organik adalah sebagai berikut :



Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) mengemisikan gas rumah kaca dalam jumlah yang cukup signifikan dalam bentuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, and Lee, 2014). Penelitian lain dilakukan di Kanada (Monteith, Sahely, MacLean, dan Bagley, 2005) dengan IPAL yang diamati sebagian besar menggunakan proses aerobik sehingga emisi gas rumah kaca diperkirakan akan didominasi oleh karbondioksida sebesar 20% ke udara (Siska, 2010). Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukukan konversi pada material pada unit OD.

- Debit Pengolahan = 6,973 m³/jam
= 167352 L/hari
- BOD = 4396,568 mg/L
- bCOD = 7210,371 mg/L
- N organik Bio = 325,2671 mg/L
- Mamot Rotor = 45 kWh

Life cycle inventory dari proses di *oxidation ditch* dapat dilihat pada Tabel 4.8. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.8 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Oxidation Ditch*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 167352,00 | L/hari |
| BOD | 4396,568 | mg/L |
| bCOD | 7210,371 | mg/L |
| N Organik Bio | 325,2671 | mg/L |
| Mamot Rotor | 45 | kWh |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.12.

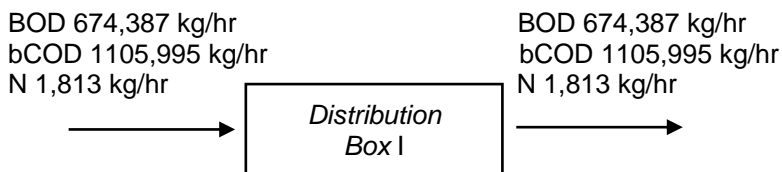
| Products | | | | | | | |
|--|-----------------|--------|--------------|--------------|-------------|----------------------|---------|
| Outputs to technosphere: Products and co-products | Amount | Unit | Quantity | Allocation | Waste type | Category | Comment |
| Oxidation Ditch | 1996,757 | kg | Mass | 100 % | not defined | Input Output...ELVIN | |
| Add | | | | | | | |
| Inputs | | | | | | | |
| Inputs from nature | Sub-compartment | Amount | Unit | Distribution | SD2 or 2SD | Min | Max |
| Add | | | | | | | |
| Inputs from technosphere: materials/fuels | Amount | Unit | Distribution | SD2 or 2SD | Min | Max | Comment |
| Balancing T | 1960,726 | kg | Undefined | | | | |
| Sump Well | 8,891 | kg | Undefined | | | | |
| Mixing Tank (MT) | 27,14 | kg | Undefined | | | | |
| Add | | | | | | | |
| Inputs from technosphere: electricity/heat | Amount | Unit | Distribution | SD2 or 2SD | Min | Max | Comment |
| Electricity grid mix 1kV-60kV AC, consumption mix, at consumer, 1kV - 60kV | 45 | kWh | Undefined | | | | |
| Add | | | | | | | |
| Outputs | | | | | | | |

Gambar 4.12 Input Data SimaPro Unit *Oxidation Ditch*

Untuk melakukan input pada Software SimaPro digunakan data material maupun energi yang digunakan dalam proses pengolahan. Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan. Material yang digunakan pada inputan ini berupa beban pengolahan organik *biodegradable*. Energi yang digunakan pada IPLT Keputih menggunakan listrik dari PLN.

4.4.5 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Distribution Box I*

Distribution box i merupakan unit mengumpulkan lumpur dari unit *oxidation ditch* secara gravitasi dan mendistribusikan lumpur secara merata menuju unit *final clarifier*. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 *Material Balance* pada Unit *Distribution Box I*

Pada *material balance* di unit *distribution box i* tidak terjadi proses degradasi. Data material merupakan data dalam jumlah per hari,

sehingga dilakukan konversi pada material pada unit *distribution box* i.

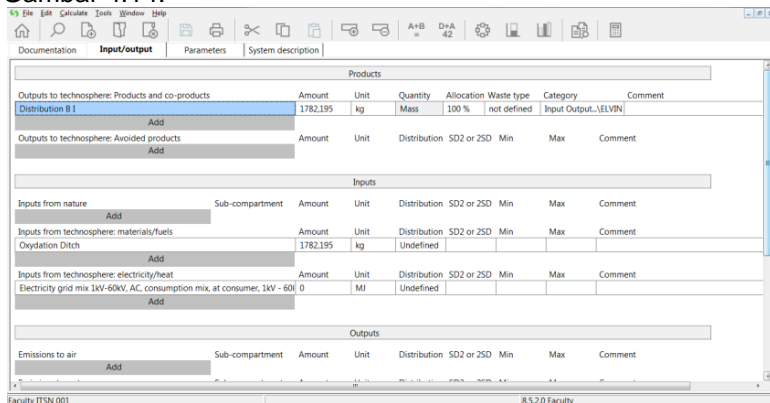
- Debit Pengolahan = 6,973 m³/jam
= 167352 L/hari
- BOD = 4030 mg/L
- bCOD = 6609,2 mg/L
- N organik Bio = 10,83397 mg/L

Life cycle inventory dari proses di *distribution box* i dapat dilihat pada Tabel 4.9. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.9 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Distribution Box* I

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 167352,00 | L/hari |
| BOD | 4030 | mg/L |
| bCOD | 6609,2 | mg/L |
| N Organik Bio | 10,83397 | mg/L |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.14.

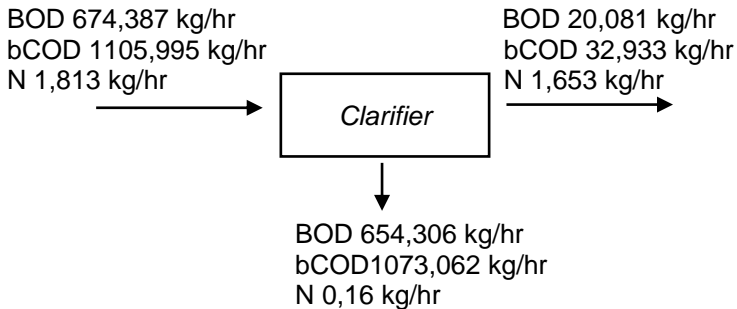


Gambar 4.14 Input Data SimaPro Unit *Distribution Box* I

Beberapa data pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian satuan.

4.4.6 Life Cycle Inventory (LCI) pada Clarifier

Clarifier adalah tempat pemisahan dari suatu suspensi ke dalam fase-fase padat (*sludge*) dan cair dari komponen-komponennya. Operasi ini dipakai ketika cairan yang mengandung zat padat ditempatkan dalam suatu bak tenang dengan desain tertentu sehingga akan terjadi pengendapan secara gravitasi. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 *Material Balance* pada Unit *Clarifier*

Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang. Emisi gas yang dihasilkan dari alat penunjang seperti pembangkit listrik tersebut dapat mencapai dua per tiga dari total emisi yang dihasilkan oleh suatu IPAL (Singh dan Kansal, 2018). Prediksi presentase emisi CO₂ yang berpotensi menyumbang pemanasan bumi (*global warming*) yang ditimbulkan oleh beberapa sektor ekonomi dunia salah satunya dihasilkan dari pembangkit listrik sebesar 39% (Bennaceur, 2004).

Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukan konversi pada material pada unit *clarifier*.

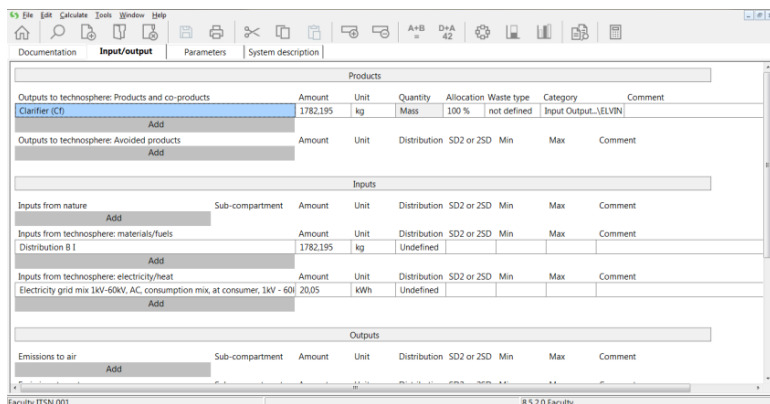
- Debit Pengolahan = 6,973 m³/jam
= 167352 L/hari
- BOD = 4030 mg/L
- bCOD = 6609,2 mg/L
- N organik Bio = 10,83397 mg/L
- Crane = 20,05 kWh

Life cycle inventory dari proses di *clarifier* dapat dilihat pada Tabel 4.10. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.10 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Clarifier*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 167352,00 | L/hari |
| BOD | 4030 | mg/L |
| bCOD | 6609,2 | mg/L |
| N Organik Bio | 10,83397 | mg/L |
| Mesin Crane | 20,05 | kWh |

Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan. Energi yang digunakan pada IPLT Keputih menggunakan listrik dari PLN. Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.16.

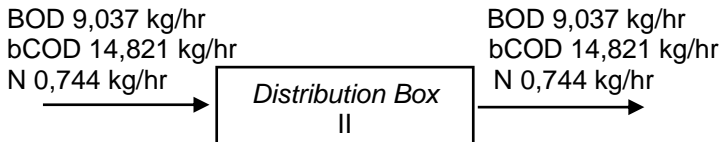


Gambar 4.16 Input Data SimaPro Unit *Clarifier*

4.4.7 *Life Cycle Inventory (LCI)* pada *Distribution Box II*

Distribution box ii merupakan lumpur mengumpulkan lumpur dari unit *clarifier* secara gravitasi, mendistribusikan lumpur secara merata menuju unit *sludge drying bed* dan diresirkulasi kembali

menuju *oxidation ditch* menggunakan pompa ke bak *mixing tank*. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 *Material Balance* pada Unit *Distribution Box II*

Pada *material balance* di unit *distribution box ii* tidak terjadi proses degradasi. Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukan konversi pada material pada unit *distribution box ii*.

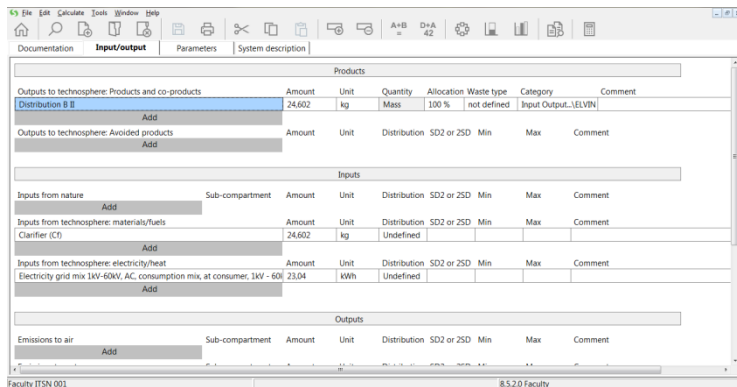
- Debit Pengolahan = 3,138 m³/jam
= 75308,4 L/hari
- BOD = 120 mg/L
- bCOD = 196,8 mg/L
- N organik Bio = 9,87658 mg/L
- Pompa = 23,04 kWh

Life cycle inventory dari proses di *distribution box ii* dapat dilihat pada Tabel 4.11. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.11 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Distribution Box II*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 75308,40 | L/hari |
| BOD | 120 | mg/L |
| bCOD | 196,8 | mg/L |
| N Organik Bio | 9,87658 | mg/L |
| Pompa | 23,04 | kWh |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.18.

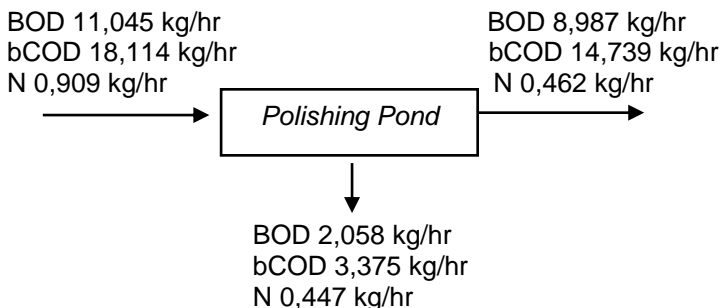


Gambar 4.18 Input Data SimaPro *Unit* Distribution Box II

Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan.

4.4.8 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Polishing Pond*

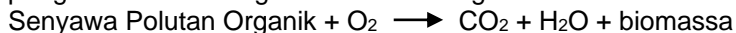
Polishing Pond adalah adalah unit pengolahan biologis dimana proses yang terjadi adalah proses penjernian air sehingga kualitas air yang dikeluarkan dapat lebih baik dan higienis. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Material Balance pada Unit *Polishing Pond*

Tujuan utama dari *polishing pond* adalah untuk menghilangkan nutrien. Pada material *balance* di unit *ini* terjadi proses degradasi bahan organik *biodegradable* dan penggunaan

energi listrik untuk pompa resirkulasi. Persamaan reaksi penguraian bahan organik adalah sebagai berikut:



Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang. Emisi gas yang dihasilkan dari alat penunjang seperti pembangkit listrik tersebut dapat mencapai dua per tiga dari total emisi yang dihasilkan oleh suatu IPAL (Singh dan Kansal, 2018). Prediksi presentase emisi CO₂ yang berpotensi menyumbang pemanasan bumi (*global warming*) yang ditimbulkan oleh beberapa sektor ekonomi dunia salah satunya dihasilkan dari pembangkit listrik sebesar 39% (Bennaceur, 2004).

Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukukan konversi pada material pada unit *polishing pond*.

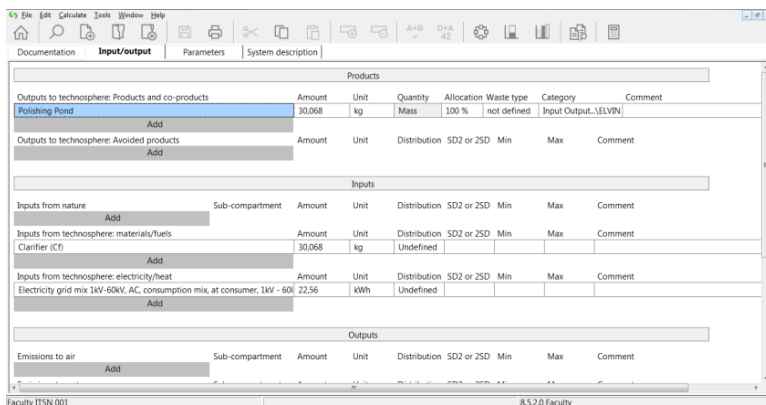
- Debit Pengolahan = 6,973 m³/jam
= 92043,6 L/hari
- BOD = 120 mg/L
- bCOD = 198,8 mg/L
- N organik Bio = 9,87658 mg/L
- Pompa Resirkulasi = 22,56 kWh

Life cycle inventory dari proses di *polishing pond* dapat dilihat pada Tabel 4.12. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.12 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Polishing Pond*

| Input | | |
|-------------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 92043,60 | L/hari |
| BOD | 120 | mg/L |
| bCOD | 196,8 | mg/L |
| N Organik Bio | 9,87658 | mg/L |
| Pompa Resirkulasi | 22,56 | kWh |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.20.

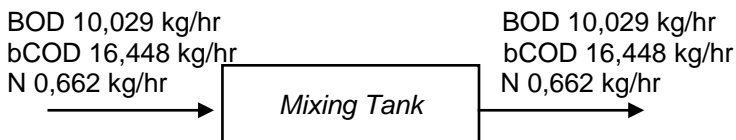


Gambar 4.20 Input Data SimaPro Unit *Polishing Pond*

Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan.

4.4.9 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Mixing Tank*

Mixing tank merupakan unit penampung lumpur aktif dari *distribution box 2* dan air resirkulasi dari unit *polishing pond*. Data yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 *Material Balance* pada *Mixing Tank*

Pada *material balance* di unit *mixing tank* tidak terjadi proses degradasi. Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukukan konversi pada material pada unit *mixing tank*.

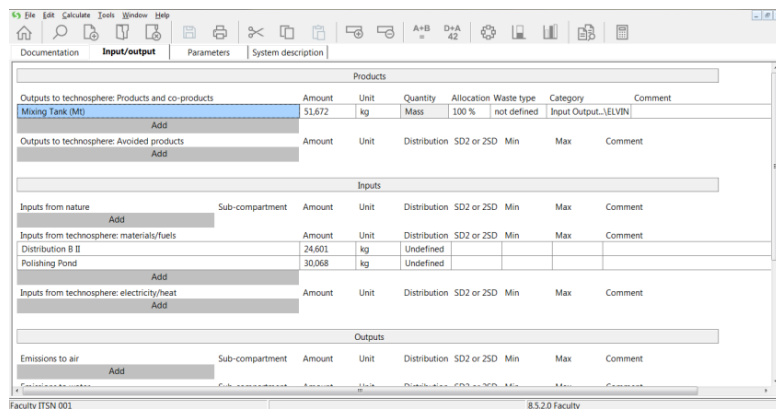
- Debit Pengolahan = 3,903 m³/jam
= 93661,71 L/hari
- BOD = 107,0787 mg/L
- bCOD = 175,0691 mg/L
- N organik Bio = 7,068493 mg/L

Life cycle inventory dari proses di *mixing tank* dapat dilihat pada Tabel 4.13. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.13 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Mixing Tank*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 93661,71 | L/hari |
| BOD | 107,0787 | mg/L |
| bCOD | 175,6091 | mg/L |
| N Organik Bio | 7,068493 | mg/L |

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Input Data SimaPro Unit *Mixing Tank*

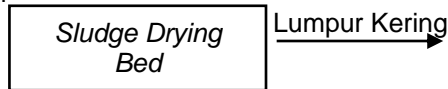
Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan.

4.4.10 *Life Cycle Inventory (LCI)* pada *Sludge Drying Bed*

Sludge drying bed merupakan unit *natural dewatering* dengan memanfaatkan tenaga sinar matahari untuk evaporasi. Unit ini menghasilkan emisi berupa senyawa karbondioksida (CO₂) penggunaan energi listrik untuk pompa resirkulasi Data

yang digunakan berdasarkan perhitungan beban pengolahan digambarkan pada Gambar 4.23.

BOD 4,293 kg/hr
bCOD 7,040 kg/hr
N 0,353 kg/hr

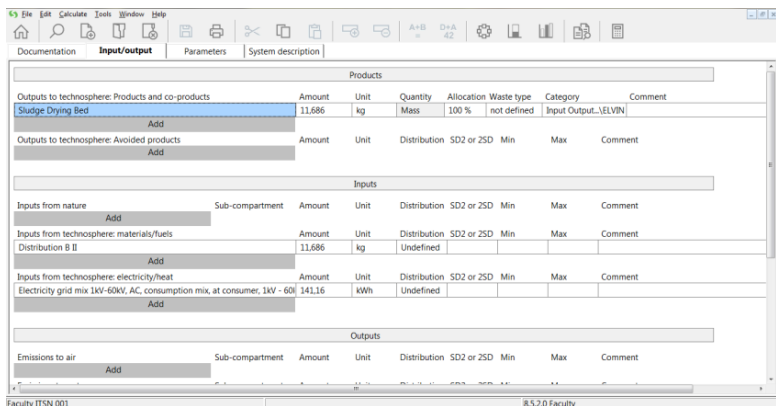


Gambar 4.23 Material Balance pada Sludge Drying Bed

Data material merupakan data dalam jumlah per hari, sehingga dilakukan konversi pada material pada unit *sludge drying bed*.

- Debit = 1,49 m³/jam
= 35771,49 L/hari
- BOD = 120 mg/L
- bCOD = 196,8 mg/L
- N organik Bio = 9,87658 mg/L

Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Input Data SimaPro Unit Sludge Drying Bed

Life cycle inventory dari proses di *sludge drying bed* dapat dilihat pada Tabel 4.14. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

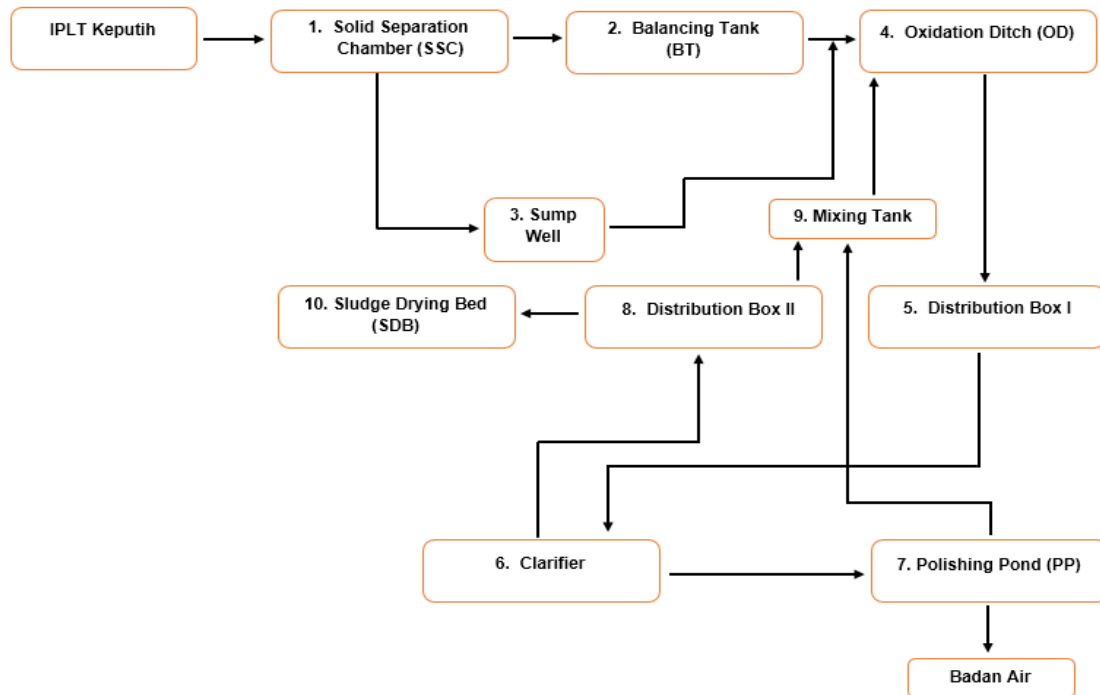
Tabel 4.14 *Life Cycle Inventory* pada Unit *Sludge Drying Bed*

| Input | | |
|---------------|-----------|--------|
| Material | Kuantitas | Satuan |
| Debit (Q) | 35771,49 | L/hari |
| BOD | 120 | mg/L |
| bCOD | 196,8 | mg/L |
| N Organik Bio | 9,87658 | mg/L |
| Pompa | 141,16 | kWh |

Beberapa data yang diinputkan pada *software* SimaPro memiliki keterbatasan data yang tersedia sehingga memerlukan penyesuaian seperti penyesuaian satuan.

4.4.11 Hasil *Life Cycle Inventory* (LCI) Keseluruhan

Setelah pengumpulan data dilakukan proses identifikasi dengan *goal* dan *scope* dan menghitung *life cycle inventory* (LCI). Hasil pengolahan *network* ini memberikan informasi hubungan dari setiap proses yang memiliki pengaruh dalam kontribusi dampak. *Network* keseluruhan proses pengolahan lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 4.25. Garis hitam merupakan beban lingkungan yang terjadi pada semua proses pengolahan yang berkontribusi dampak terhadap lingkungan.



Gambar 4.25 *Network* Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT

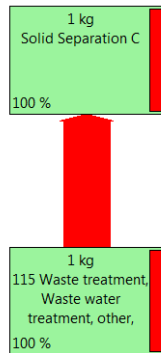
4.5 Penilaian Dampak atau *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)

Pada tahap penilaian dampak dilakukan penentuan dampak terhadap lingkungan yang telah diperoleh dari tahapan *Life cycle inventory* (LCI). Metode pada software SimaPro yang digunakan untuk memperkirakan besarnya dampak yang terjadi adalah Impact 2002+. Metode Impact 2002+ dipilih karena merupakan metode terbaru dan merupakan kombinasi dari empat metode sebelumnya yaitu IMPACT 2002 (Pennington et al, 2005), Eco-indicator 99 (Goedkoop dan Spriensma, 2002, 2nd version, Egalitarian Factors), CML (Guinee et al, 2002) dan IPCC.

Penilaian dampak yang dilakukan *software* SimaPro adalah membandingkan secara langsung hasil *life cycle inventory* (LCI) dalam setiap kategori. Dalam metode Impact 2002+ akan dihasilkan 14 kategori dampak, namun akan difokuskan pada tiga dampak yaitu *aquatic eutrophication*, *global warming*, dan *non renewable energy*. Berikut ini adalah rincian *life cycle impact assessment* (LCIA) pada setiap proses pengolahan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Solid Separation Chamber* (SSC)

Solid separation chamber adalah unit pertama yang akan menampung lumpur tinja yang dikeluarkan oleh truk tinja. Pada unit ini terdapat bak ukur yang akan menentukan volume tinja yang masuk dari masing-masing truk tinja. *Solid separation chamber* berfungsi untuk memisahkan kandungan padatan (*solid*) yang sangat tinggi pada lumpur tinja dengan air (*supernatan*), sehingga beban pengolahan yang akan diterima oleh *oxidation ditch* menjadi lebih berkurang. Hasil pengolahan data menggunakan *software* SimaPro dibagi menjadi dua macam penilaian yaitu *network* dan *characterization*. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses tersebut terhadap lingkungan. Gambar 4.26 menunjukkan beban yang masuk ke unit pengolahan *solid separation chamber*.



Gambar 4.26 *Network Unit Solid Separation Chamber*

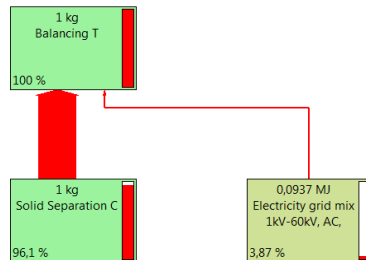
Pada Gambar 4.26 limbah pertama kali dari truk tinja yang membawa limbah tinja dengan konsentrasi tertentu masuk menuju unit *solid separation chamber*. Beban pengolahan yang diinput unit ini adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable* dan dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.15 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.15 *Impact Assessment Solid Separation Chamber*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|----------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,000000 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 5315,307 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 32428,85 |

2. *Balancing Tank*

Unit *balancing tank* merupakan tempat menampung sementara variasi debit dengan variasi beban lumpur tinja untuk mendapatkan beban lumpur yang konstan atau seragam. Pada prinsipnya, aplikasi dari proses ekualisasi yaitu pada saat musim kering, berfungsi untuk mereduksi debit dan beban puncak lumpur tinja dan pada saat musim hujan, berfungsi untuk mengantisipasi peningkatan debit akibat infiltrasi dan *inflow*. Berikut merupakan hasil *network* dari proses di *balancing tank* dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Network Unit Balancing Tank

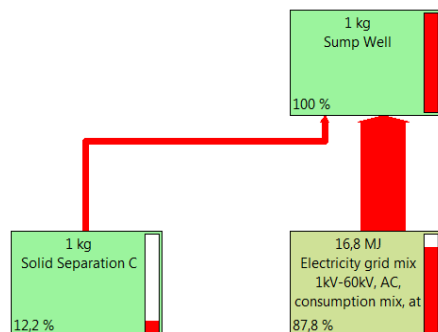
Pada Gambar 4.27 overflow dari unit SSC akan masuk menuju menuju unit *balancing tank* secara gravitasi. Beban pengolahan yang diinput unit ini adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable* dan jumlah penggunaan energi listrik untuk memompa lumpur tinja menuju unit *oxidation ditch*. Inputan tersebut dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.16 Impact Assessment Balancing Tank

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|------------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,00021718 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 2861,6898 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 17849,935 |

3. Sump Well

Sumur pengumpul berfungsi untuk menampung hasil filtrasi dari bak *solid separation chamber* yang mengalir melalui pipa *underdrain*. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses tersebut terhadap lingkungan. Berikut ini merupakan hasil *network* dari proses di *sump well* dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 *Network Unit Sump Well*

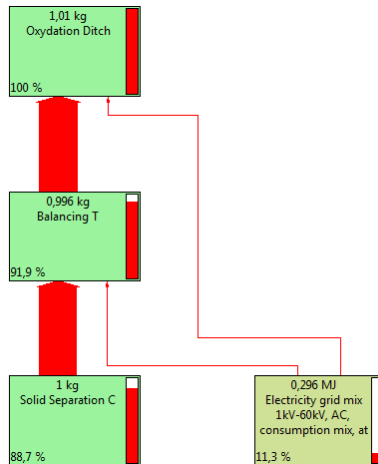
Pada Gambar 4.28 filtrat dari unit SSC akan masuk menuju menuju unit *sump well* secara gravitasi. Beban pengolahan yang diinput unit ini adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable* dan jumlah penggunaan energi listrik untuk memompa lumpur tinja menuju unit *oxidation ditch*. Inputan tersebut dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.17 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.17 *Impact Assessment Sump Well*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|-----------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,0001434 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 37,215542 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 485,02027 |

4. *Oxidation Ditch*

Oxidation ditch adalah unit dimana terjadi proses biologis secara aerobik dan anoksik. Disini proses pengolahan lumpur tinja memanfaatkan mikroorganisme dalam mendekomposisi lumpur dengan bantuan oksigen yang disuplai oleh mamot rotor yang memiliki ukuran besar. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses tersebut terhadap lingkungan. Berikut ini merupakan hasil *network* dari proses di *oxidation ditch* dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 *Network Unit Oxidation Ditch*

Pada Gambar 4.29 lumpur tinja dari unit balancing tank, sump well akan masuk menuju menuju unit *oxidation ditch* dengan pemompaan dan dari unit *mixing tank* secara gravitasi. Beban pengolahan yang diinput unit ini adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable* dan jumlah penggunaan energi listrik untuk aerasi oleh mamot rotor. Inputan tersebut dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

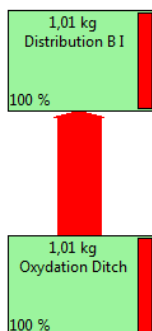
Tabel 4.18 *Impact Assessment Oxidation Ditch*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|------------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,00068849 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 2962,5184 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 19312,918 |

5. *Distribution Box I*

Distribution box i berfungsi mengumpulkan lumpur dari unit *oxidation ditch* secara gravitasi dan mendistribusikan lumpur secara merata menuju unit *final clarifier*. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada.

Characterization akan mengidentifikasi dampak proses tersebut terhadap lingkungan. Berikut ini merupakan hasil *network* dari proses di *distribution box* i dapat dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 *Network Unit Distribution Box I*

Pada Gambar 4.30 lumpur tinja dari unit *oxidation ditch* akan masuk dan didistribusikan menuju unit *clarifier* untuk proses pengendapan. Inputan nilai beban pengolahan sama dengan unit OD yang dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.19 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

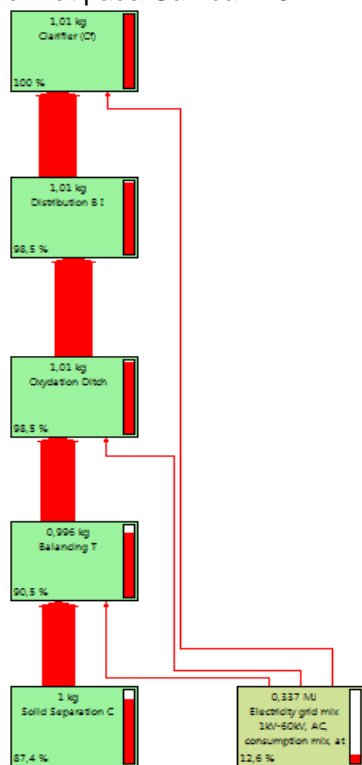
Tabel 4.19 *Impact Assessment Distribution Box I*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|-----------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,0005062 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 2178,1428 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 14199,504 |

6. *Clarifier*

Unit *final clarifier* merupakan unit pengolahan biologis dimana proses yang terjadi adalah proses fisik yaitu pengendapan (sedimentasi) dari partikel-partikel *solid*. Prinsip operasi yang berlangsung di dalam *final clarifier* adalah pemisahan dari suatu suspensi ke dalam fase padat (*sludge*) dan cair dari komponen-komponennya. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan

mengidentifikasi dampak proses tersebut terhadap lingkungan. Berikut ini merupakan hasil *network* dari proses di *clarifier* dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 *Network Unit Clarifier*

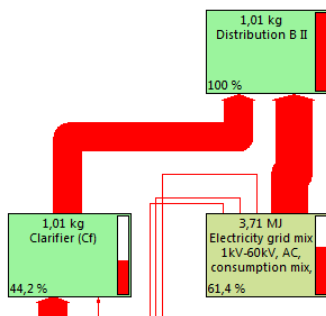
Pada Gambar 4.31 lumpur tinja dari *distribution box* i menuju unit *clarifier* secara gravitasi. Beban pengolahan yang diinput adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable* dan jumlah penggunaan energi listrik untuk mesin *crane*. Inputan tersebut dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.20 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.20 *Impact Assessment Clarifier*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|------------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,00057545 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 2191,099 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 14403,123 |

7. *Distribution Box II*

Distribution box ii berfungsi mengumpulkan lumpur dari unit *clarifier* secara gravitasi, mendistribusikan menuju unit *sludge drying bed* dan diresirkulasi kembali menuju *oxidation ditch* menggunakan pompa. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses terhadap lingkungan. Berikut ini merupakan hasil *network* dari proses di *distribution box ii* dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 *Network Unit Distribution Box II*

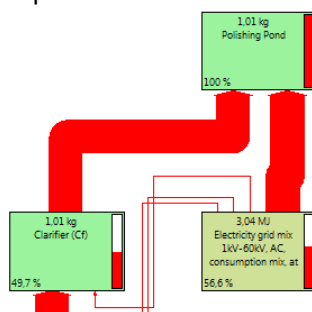
Pada Gambar 4.32 lumpur tinja dari unit *clarifier* akan masuk dan didistribusikan menuju unit *mixing tank* untuk resirkulasi lumpur di unit *oxidation ditch*. Inputan nilai beban pengolahan sama dengan unit *clarifier* dan jumlah penggunaan energi listrik untuk pompa resirkulasi lumpur yang dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.21 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.21 *Impact Assessment Distribution Box II*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|-----------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 8,75E-05 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 45,133143 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 432,79136 |

8. *Polishing Pond*

Polishing pond adalah yang berfungsi untuk menghilangkan nutrien. *Polishing pond* dirancang untuk meningkatkan kompatibilitas lingkungan dan kualitas effluen dari pengolahan sebelumnya agar aman apabila dibuang ke lingkungan. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses terhadap lingkungan. Hasil *network* dari proses di *polishing pond* dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33 *Network Unit Polishing Pond*

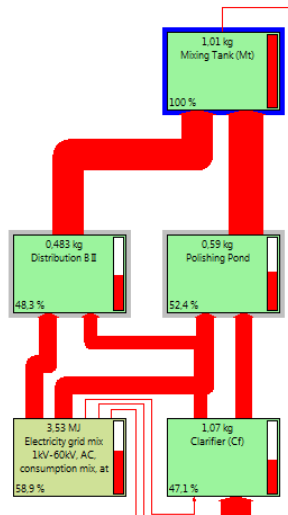
Pada Gambar 4.33 *overflow* dari unit *clarifier* akan masuk dan didistribusikan menuju unit *mixing tank* untuk resirkulasi air di unit *oxidation ditch*. Inputan nilai beban pengolahan sama adalah BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable* dan jumlah penggunaan energi listrik untuk pompa resirkulasi air yang dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.22 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.22 *Impact Assessment Polishing Pond*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|-----------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 8,76E-05 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 51,544915 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 472,10874 |

9. *Mixing Tank*

Mixing tank adalah unit yang berfungsi menampung lumpur aktif dari unit distribution box ii dan air resirkulasi dari *polishing pond* yang akan dialirkan ke unit *oxidation ditch* sebagai lumpur aktif resirkulasi. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses terhadap lingkungan. Hasil *network* dari proses di *mixing tank* dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 *Network Unit Mixing Tank*

Pada Gambar 4.34 air olahan dari unit *polishing pond* dan lumpur dari unit *distribution box ii* akan masuk ke unit ini secara dipompa. Inputan nilai beban pengolahan adalah campuran antara konsentrasi lumpur dan konsentrasi air

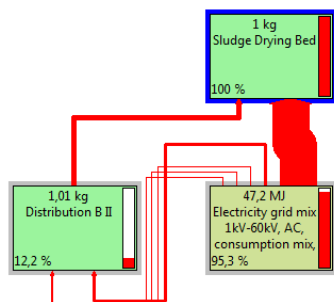
olahan yang dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.23 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.23 *Impact Assessment Mixing Tank*

| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|------------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,00017514 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 96,678058 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 904,9001 |

10. Sludge Drying Bed

Sludge drying bed adalah *natural dewatering* dengan memanfaatkan tenaga sinar matahari untuk mengurangi kadar air dalam lumpur. Penilaian berdasarkan *network* akan mengidentifikasi dampak yang berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada. *Characterization* akan mengidentifikasi dampak proses terhadap lingkungan. Berikut ini merupakan hasil *network* dari proses di *mixing tank* dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 *Network Unit Sludge Drying Bed*

Pada Gambar 4.35 lumpur dari unit *distribution box ii* akan dikeringkan menuju unit *sludge drying bed* dan dialirkan dengan pompa. Inputan beban pengolahan dan jumlah penggunaan energi listrik dianalisis dengan *software* SimaPro 8.5. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.24 yang menunjukkan nilai dampak yang berkontribusi ke lingkungan.

Tabel 4.24 *Impact Assessment Sludge Drying Bed*

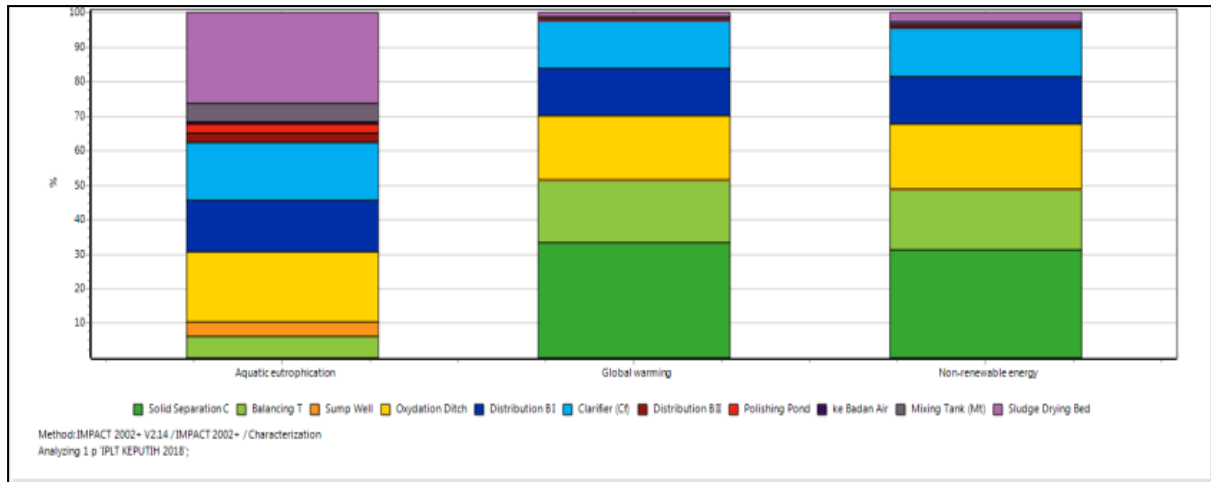
| Impact Category | Unit | Total |
|-------------------------------|---------------------------|------------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | PDF-m ² .y | 0,00089913 |
| <i>Global warming</i> | kg CO ₂ /tahun | 191,43631 |
| <i>Non renewable energy</i> | MJ | 2785,3889 |

4.6 Penilaian Dampak Keseluruhan Proses Pengolahan Lumpur Tinja

Penilaian dampak lingkungan yang dihasilkan pada *software* SimaPro pada penelitian ini merupakan *cradle to gate* yaitu pada bagian ini ruang lingkup dimulai dari *raw material* proses sampai ke *gate* sebelum effluen dilepas. Tahap penilaian yang dilakukan untuk proses pengolahan lumpur tinja dapat dilihat dari hasil *life cycle impact assessment* (LCIA) berdasarkan karakteristiknya.

4.6.1 Analisis Karakterisasi/*Characterization*

Characterization adalah tahap yang dilakukan dengan mengalikan substansi kategori dampak dengan faktor karakterisasi. Faktor karakterisasi sering disebut faktor kesetaraan. Nilai karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36 Diagram *Characterization Impact Assessment* IPLT Keputih

Gambar 4.36 menunjukkan diagram hasil dampak dari proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih. Hasil yang ditunjukkan berupa persentase. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Impact 2002+*. Metode *Impact 2002+* merupakan metode baru yang menghubungkan semua jenis *life cycle inventory* melalui 14 *midpoint categories* (*Impact 2002+ A New Life Impact Assessment Methodology*, 2003).

Untuk unit *solid separation chamber* menghasilkan 0,0% *aquatic eutrophication*, 33,3% *global warming* dan 31,4% *non renewable energy*. Unit *balancing tank* menghasilkan 6,37% *aquatic eutrophication*, 17,9% *global warming*, dan 17,3% *non renewable energy*. Unit *sump well* menghasilkan 4,21% *aquatic eutrophication*, 0,233 % *global warming*, dan 0,469% *non renewable energy*. Unit *oxidation ditch* menghasilkan 20,2% *aquatic eutrophication*, 18,6% *global warming*, 18,7% *non renewable energy*. Unit *distribution box i* menghasilkan 14,8% *aquatic eutrophication*, 13,7% *global warming*, dan 13,7% *non renewable energy*. Unit *clarifier* menghasilkan 16,8% *aquatic eutrophication*, 13,7% *global warming* dan 13,9% *non renewable energy*. Unit *distribution box ii* menghasilkan 2,57% *aquatic eutrophication*, 0,283% *global warming* dan 0,418% *non renewable energy*. Unit *polishing pond* 2,57% *aquatic eutrophication*, 0,323% *global warming* dan 0,456% *non renewable energy*. Unit *mixing tank* 5,14% *aquatic eutrophication*, 0,606% *global warming* dan 0,875% *non renewable energy*. Unit *sludge drying bed* 26,4% *aquatic eutrophication*, 1,2% *global warming* dan 2,69% *non renewable energy*. Yang dibuang ke badan air menghasilkan 0,852% *aquatic eutrophication*, 0,107% *global warming* 0,151% dan *non renewable energy*.

1. Global Warming

Pemanasan global terjadi akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen oksida (NO_x) dan gas lainnya secara berlebihan di atmosfer, sehingga cahaya matahari yang dipantulkan bumi sebagai radiasi infra merah gelombang panjang dan ultraviolet yang akan diteruskan ke angkasa luar, namun sebagian besar dipantulkan kembali ke bumi oleh gas rumah kaca yang terbentuk di atmosfer, sehingga semakin meningkatkan temperatur bumi. Disebut gas rumah kaca karena beberapa gas yang terbentuk di atmosfer bumi ini berfungsi seperti kaca pada rumah kaca, yang berperan meneruskan cahaya matahari namun menangkap energi panas dari dalamnya. Dengan semakin besar konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, akan semakin besar pula energi panas yang terperangkap di permukaan bumi (Latuconsina, 2010).

Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO_2 ini disebabkan oleh kenaikan pembakaran bahan bakar minyak, batubara dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tanaman dan laut untuk menyerapnya. Energi yang masuk ke bumi yaitu 25% dipantulkan oleh awan atau partikel lain di atmosfer, 25% diserap awan, 45% diserap permukaan bumi dan 5% dipantulkan kembali oleh permukaan bumi (Wahyuni dan Suarsana, 2011).

Menurut Surmaini (2011), ada enam jenis gas yang digolongkan sebagai GRK, yaitu karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrooksida (N_2O), sulfurheksafluorida (SF_6), perfluorokarbon (PFC) dan hidrofluorokarbon (HFC). Peningkatan emisi GRK disebabkan karena aktivitas manusia, antara lain melalui pembangunan, baik di bidang industri, pertanian, perkebunan, maupun peristiwa alam yang berkontribusi bagi peningkatan emisi GRK tersebut (Lailaty, 2017).

Pemanasan global yaitu fenomena peningkatan temperatur global secara gradual yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas rumah kaca. Cahaya matahari dipancarkan ke bumi dalam bentuk radiasi gelombang pendek. Di permukaan bumi, cahaya diserap dan dipantulkan dalam wujud radiasi infra merah gelombang panjang. Cahaya yang dipantulkan kembali, sebagian panasnya terperangkap di atmosfer. Menumpuknya jumlah GRK di lapisan atmosfer mengakibatkan panas akan tersimpan di permukaan bumi yang menyebabkan suhu rata-rata tahunan bumi meningkat (UNFCCC, 2006). Dengan demikian, penurunan GRK menjadi salah satu perhatian dunia dalam rangka menangani pemanasan global.

2. *Aquatic Eutrophication*

Eutrofikasi ialah kondisi dimana perairan mengalami peningkatan kadar bahan organik dan nutrisi. Eutrofikasi ditandai dengan terjadinya peningkatan fitoplankton dan peningkatan pertumbuhan tumbuhan air (*blooming algae*). Eutrofikasi dikhawatirkan akan mengurangi kadar oksigen

terlarut dalam perairan, dan tingginya kandungan ammonia yang bersifat toksik bagi biota air (Simbolon, 2016).

Limbah dari kegiatan tersebut mengandung beberapa nutrisi salah satunya adalah nitrat dan ortofosfat. Konsentrasi yang tinggi dari kedua nutrisi ini dapat memicu proses eutrofikasi dan ledakan populasi fitoplankton (Tungka dkk., 2016). Limbah organik dalam air dan sedimen waduk mengalami dekomposisi dan meningkatkan konsentrasi unsur nitrogen (N) dan fosfor (P), yang dapat mendorong pertumbuhan fitoplankton. Pada konsentrasi yang optimum, unsur hara N dan P menguntungkan bagi pertumbuhan fitoplankton yang merupakan makanan ikan sehingga dapat meningkatkan produksi ikan di waduk. Namun ketika konsentrasi unsur-unsur tersebut tinggi, terjadi pertumbuhan fitoplankton yang berlebih atau eutrofikasi dan bisa terjadi pencemaran air waduk (Rustadi, 2009).

Peningkatan nutrisi yang berkelanjutan dalam konsentrasi yang tinggi pada akhirnya akan menyebabkan badan air menjadi sangat subur atau eutrofik dan menimbulkan gangguan (dampak negatif) bagi badan air tersebut yakni terjadinya. Proses peningkatan kesuburan air yang berlebihan yang disebabkan oleh masuknya nutrisi dalam badan air, terutama fosfat inilah yang disebut eutrofikasi (Garno, 2012).

3. *Non Renewable Energy*

Meningkatnya kebutuhan energi listrik maka akan dibutuhkan pembangunan pembangkit yang lebih banyak sehingga akan berakibat pada eksploitasi SDA yang semakin meningkat. Hal ini akan berdampak pada menurunnya cadangan SDA yang ada. Sumber daya energi khususnya yang tidak terbarukan seperti minyak, gas, batubara (energi fosil) semakin lama akan terus berkurang sesuai dengan pemakaian yang terus meningkat. Hal ini akan menimbulkan krisis energi dikemudian hari khususnya untuk generasi yang akan datang. Data cadangan energi terbukti di Indonesia menunjukkan bahwa energi minyak tinggal 10 tahun, gas 30 tahun, dan batu bara 146 tahun, dengan asumsi

cadangan terbukti tetap dan tidak ada peningkatan produksi (Harjanto, 2008).

Penggunaan energi fosil akan menghasilkan emisi seperti: partikel, SO_2 , NO_x , dan CO_2 . Emisi partikel, SO_2 , dan NO_x adalah bahan polutan yang berhubungan langsung dengan kesehatan manusia. Disamping itu, masyarakat internasional juga menaruh perhatian terhadap isu lingkungan global seperti pemanasan global (Sugiyono, 2002). Total emisi yang dihasilkan dari konsumsi energi yang dimaksud merupakan gabungan dari emisi total konsumsi minyak mentah, konsumsi minyak, produksi dan konsumsi gas alam, produksi dan konsumsi batu bara, konsumsi energi listrik, intensitas energi serta impor dan ekspor untuk semua bahan bakar (Putri, 2016).

Kadar CO_2 saat ini disebut sebagai yang tertinggi selama 125,000 tahun belakangan. Bila ilmuwan masih memperdebatkan besarnya cadangan minyak yang masih bisa dieksplorasi, efek buruk CO_2 terhadap pemanasan global telah disepakati hampir oleh semua kalangan. Hal ini menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi (Robert, 2005).

Penggunaan energi fosil menimbulkan setidaknya tiga ancaman serius yaitu menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), kenaikan atau ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan polusi gas rumah kaca (terutama CO_2) akibat pembakaran bahan bakar fosil (Lubis, 2007).

Beberapa ancaman yang ditimbulkan berdasarkan pemakaian bahan bakar fosil secara *continue* akan memunculkan paling sedikit dua ancaman serius. Ancaman pertama berkaitan dengan masalah ekonomi berupa jaminan ketersediaan bahan bakar fosil untuk beberapa dekade mendatang, *supply* bahan bakar fosil yang kian menipis, serta fluktuasi harga yang sulit diprediksi. Ancaman yang kedua adalah polusi yang diakibatkan oleh emisi pembakaran bahan bakar fosil tersebut dan dampaknya terhadap lingkungan yang nantinya secara langsung ataupun tidak langsung akan berpengaruh

kepada derajat kesehatan yang dimiliki manusia (Indartono, 2005).

Faktor karakterisasi kerusakan zat dapat diperoleh dengan mengalikan potensi karakterisasi midpoint yang ada dengan faktor karakterisasi kerusakan zat. Tabel 4.25 menunjukkan faktor karakterisasi berbagai zat.

Tabel 4.25 Faktor Kerusakan Karakterisasi

| Midpoint Category | Damage Factors | Unit |
|-------------------------------|----------------|---------------------------|
| <i>Aquatic eutrophication</i> | 11,4 | PDF-m ² .y |
| <i>Global warming</i> | 1 | kg CO ₂ /tahun |
| <i>Non renewable energy</i> | 45,6 | MJ |

Sumber: IMPACT 2002+ A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, 2003

Dari Tabel 4.25 diketahui bahwa setiap dampak *assessment* memiliki nilai yang telah ditetapkan pada dampak *life cycle impact assessment* (LCIA). Berikut contoh perhitungan LCIA didalam penelitian ini pada:

a. Unit *Solid Separation Chamber*

Hasil LCI *aquatic eutrophication* = 0,0 PDF-m².y

LCIA
 = Damage Factor x Hasil LCI
 = 11,4 x 0 PDF-m².y
 = 0 PDF-m².y

Hasil LCI *global warming* = 5315,307 kg CO₂/tahun

LCIA
 = Damage Factor x Hasil LCI
 = 1 x 5315,307 kg CO₂/tahun
 = 5315,307 kg CO₂/tahun

Hasil LCI *non renewable energy* = 711,159 MJ

LCIA
 = Damage Factor x Hasil LCI
 = 45,6 x 711,159 MJ
 = 32428,85 MJ

b. Unit *Balancing Tank*

Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = 1,9E-05 PDF-m².y

LCIA
 = Damage Factor x Hasil LCI
 = 11,4 x 1,9E-05 PDF-m².y
 = 0,00021717893 PDF-m².y

Hasil LCI *global warming* = 2861,6898 kg CO₂/tahun

- LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $1 \times 2861,6898 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 = $2861,6898 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 Hasil LCI *non renewable energy* = $391,446 \text{ MJ}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $45,6 \times 391,446 \text{ MJ}$
 = $17849,935 \text{ MJ}$
- c. Unit *Sump Well*
 Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = $1,258\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $11,4 \times 1,258\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$
 = $0,00014340441 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$
 Hasil LCI *global warming* = $37,215542 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $1 \times 37,215542 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 = $37,215542 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 Hasil LCI *non renewable energy* = $10,636 \text{ MJ}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $45,6 \times 10,636 \text{ MJ}$
 = $485,02027 \text{ MJ}$
- d. Unit *Oxidation Ditch*
 Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = $6\text{E-}05\text{PDF-m}^2.\text{y}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $11,4 \times 6\text{E-}05\text{PDF-m}^2.\text{y}$
 = $0,0006885 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$
 Hasil LCI *global warming* = $2962,5184 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $1 \times 2962,5184 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 = $2962,5184 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$
 Hasil LCI *non renewable energy* = $423,529 \text{ MJ}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI
 = $45,6 \times 423,529 \text{ MJ}$
 = $19312,918 \text{ MJ}$
- e. Unit *Distribution Box I*
 Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = $4,44\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$
 LCIA = Damage Factor \times Hasil LCI

- $$= 11,4 \times 4,44\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$
- $$= 0,0005062 \text{ PDF.m}^2.\text{y}$$
- Hasil LCI *global warming* = 2178,1428 kg CO₂/tahun
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 1 \times 2178,1428 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$
- $$= 2178,1428 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$
- Hasil LCI *non renewable energy* = 311,393 MJ
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 45,6 \times 311,393 \text{ MJ}$$
- $$= 14199,504 \text{ MJ}$$
- f. Unit Clarifier
- Hasil LCI *aquatic eutrophication*
- $$= 5\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 11,4 \times 5\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$
- $$= 0,00057545 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$
- Hasil LCI *global warming* = 2191,099 kg CO₂/tahun
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 1 \times 2191,099 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$
- $$= 2191,099 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$
- Hasil LCI *non renewable energy* = 315,858 MJ
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 45,6 \times 315,858 \text{ MJ}$$
- $$= 14403,123 \text{ MJ}$$
- g. Unit Distributin Box II
- Hasil LCI *aquatic eutrophication* = 7,6E-06 PDF-m².y
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 11,4 \times 7,6\text{E-}06 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$
- $$= 8,75\text{E-}05 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$
- Hasil LCI *global warming* = 45,133143 kg CO₂/tahun
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 1 \times 45,133143 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$
- $$= 45,133143 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$
- Hasil LCI *non renewable energy* = 9,491 MJ
- LCIA = Damage Factor × Hasil LCI
- $$= 45,6 \times 9,491 \text{ MJ}$$
- $$= 432,79136 \text{ MJ}$$

- h. Unit *Polishing Pond*
 Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = 7,6E-06 PDF-m².y
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 11,4 × 7,6E-06 PDF-m².y
 = 8,763E-05PDF-m².y
 Hasil LCI *global warming* = 51,544915 kg CO₂/tahun
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 1 × 51,544915 kg CO₂/tahun
 = 51,544915 kg CO₂/tahun
 Hasil LCI *non renewable energy* = 10,353 MJ
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 45,6 × 10,353 MJ
 = 472,10874 MJ
- i. Unit *Mixing Tank*
 Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = 1,54E-05 PDF-m².y
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 11,4 × 1,54E-05 PDF-m².y
 = 0,00017514PDF-m².y
 Hasil LCI *global warming* = 96,678058 kg CO₂/tahun
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 1 × 96,678058 kg CO₂/tahun
 = 96,678058 kg CO₂/tahun
 Hasil LCI *non renewable energy* = 19,844 MJ
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 45,6 × 19,844 MJ
 = 904,9001 MJ
- j. Unit *Sludge Drying Bed*
 Hasil LCI *aquatic eutrophication*
 = 7,89E-05 PDF-m².y
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 11,4 × 7,89E-05 PDF-m².y
 = 0,00089913249 PDF-m².y
 Hasil LCI *global warming* = 191,43631 kg CO₂/tahun
 LCIA
 = Damage Factor × Hasil LCI
 = 1 × 191,43631 kg CO₂/tahun
 = 191,43631 kg CO₂/tahun
 Hasil LCI *non renewable energy* = 61,083 MJ

$$\begin{aligned}\text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 45,6 \times 61,083 \text{ MJ} \\ &= 2785,3889 \text{ MJ}\end{aligned}$$

k. Ke Badan Air

$$\begin{aligned}\text{Hasil LCI } \textit{aquatic eutrophication} &= 2,55\text{E-}06 \text{ PDF-m}^2.\text{y}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 11,4 \times 2,55\text{E-}06 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\ &= 0,0000290411 \text{ PDF-m}^2.\text{y}\end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{global warming} = 17,082781 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}\text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 1 \times 17,082781 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\ &= 17,082781 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 3,431 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned}\text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 45,6 \times 3,431 \text{ MJ} \\ &= 156,46413 \text{ MJ}\end{aligned}$$

Hasil *impact assessment* keseluruhan proses berdasarkan *characterization* dan nilai karakterisasi dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Hasil *Characterization* Dampak Lingkungan

| Impact Category | Unit | Total | SSC | Balancing Tank | Sump Well | Oxydation Ditch | Distribution Box I |
|------------------------|---------------------------|------------|----------|----------------|-----------|-----------------|--------------------|
| Aquatic Eutrophication | PDF-m ² .yr | 0,00340918 | 0,000000 | 0,00021718 | 0,0001434 | 0,00068849 | 0,0005062 |
| Global Warming | kg CO ₂ /tahun | 15947,848 | 5315,307 | 2861,6898 | 37,215542 | 2962,5184 | 2178,1428 |
| Non-renewable Energy | MJ | 103431 | 32428,85 | 17849,935 | 485,02027 | 19312,918 | 14199,504 |

Lanjutan Tabel 4.26 Hasil *Characterization* Dampak Lingkungan

| Impact Category | Unit | Clarifier | Distribution Box II | Polishing Pond | Mixing Tank | Sludge Drying Bed | ke Badan Air |
|------------------------|---------------------------|-----------|---------------------|----------------|-------------|-------------------|--------------|
| Aquatic Eutrophication | PDF-m ² .yr | 0,000575 | 8,75E-05 | 8,76E-05 | 0,00017514 | 0,00089913 | 2,90E-05 |
| Global Warming | kg CO ₂ /tahun | 2191,099 | 45,133143 | 51,544915 | 96,678058 | 191,43631 | 17,082781 |
| Non-renewable Energy | MJ | 14403,12 | 432,79136 | 472,10874 | 904,9001 | 2785,3889 | 156,46413 |

Sumber: Hasil Perhitungan SimaPro 8.5

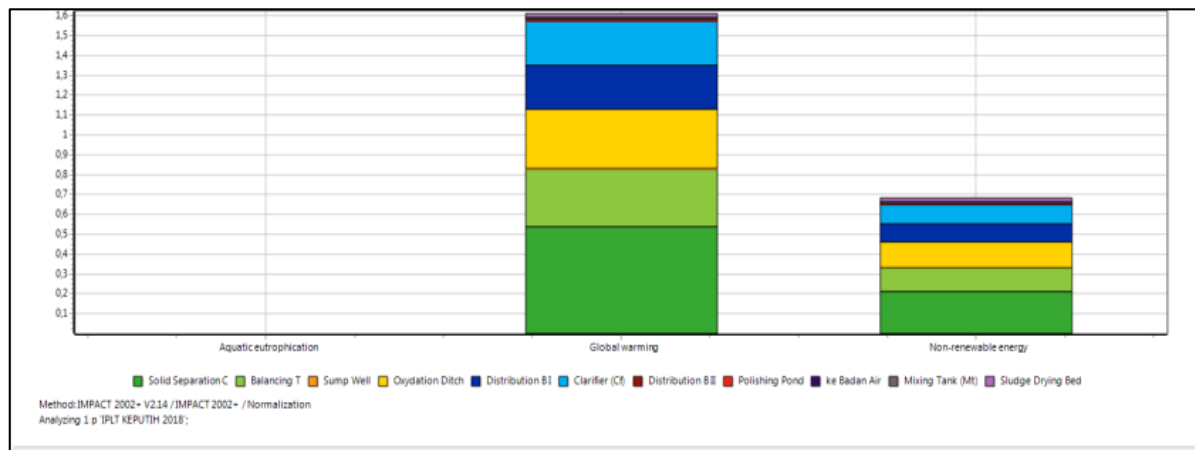
4.6.2 Analisis Normalisasi/Normalization

Tahapan normalisasi ini dilakukan untuk memudahkan perbandingan antar kategori dampak. Faktor normalisasi pada Tabel 4.27 ditentukan dengan rasio dampak per unit dibagi dengan dampak total semua zat dari kategori tertentu yang faktor karakterisasi ada, per orang per tahun. Nilai *impact category* dari *characterization* dibagi dengan nilai normal sehingga semua *impact category* menggunakan unit atau satuan yang sama agar nilai tersebut dapat dibandingkan. Pada Gambar 4.37 hasil diagram normalisasi yang terlihat hanya dampak *aquatic eutrophication*, *global warming* dan *non renewable energy*.

Tabel 4.27 Faktor Normalisasi

| Damage Categories | Normalization Factors | Unit |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Human Health | 0,0077 | DALY/pers/yr |
| Ecosystem Quality | 4650 | PDF-m ² .yr/pers/yr |
| Climate Change | 9950 | kg CO ₂ /pers/yr |
| Resources | 152000 | MJ/pers/yr |

Sumber: Impact 2002+ A New Life Impact Assessment Methodology (2003)



Gambar 4.37 Diagram *Normalization Impact Assessment* Proses Pengolahan Lumpur Tinja

Dari Tabel 4.27 diketahui setiap nilai dampak berpengaruh pada kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan cuaca dan sumber daya. Berikut contoh perhitungan *normalization global warming*:

a. Unit Solid Separation Chamber

Hasil CO₂ *characterization* = 5315,307 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*

= 5315,307 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr

= 0,534

untuk proses di unit SSC berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,534.

b. Unit Balancing Tank

Hasil CO₂ *characterization* = 2861,6898 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*

= 2861,6898 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr

= 0,288

untuk proses di unit BT berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,288.

c. Unit Sump Well

Hasil CO₂ *characterization* = 37,215542 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*

= 37,215542 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr

= 0,00374

untuk proses di unit *sump well* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,00374.

d. Unit Oxidation Ditch

Hasil CO₂ *characterization* = 2962,5184 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*

= 2962,5184 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr

= 0,298

untuk proses di unit *oxidation ditch* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,298.

e. Unit Distribution Box I

Hasil CO₂ *characterization* = 2178,1428 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*

= 2178,1428 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr

= 0,219

untuk proses di unit *distribution box i* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,219.

f. Unit Clarifier

Hasil CO₂ *characterization* = 2191,099 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*
= 2191,099 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr
= 0,220211

untuk proses di unit *clarifier* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,220211.

g. Unit Distribution Box II

Hasil CO₂ *characterization* = 4,51E+01 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*
= 4,51E+01 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr
= 4,54E-03

untuk proses di unit *distribution box ii* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 4,54E-03.

h. Unit Polishing Pond

Hasil CO₂ *characterization* = 5,15E+01 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*
= 5,15E+01 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr
= 5,18E-03

untuk proses di unit *polishing pond* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 5,18E-03.

i. Unit Mixing Tank

Hasil CO₂ *characterization* = 96,678058 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*
= 96,678058 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr
= 0,009716

untuk proses di unit *mixing tank* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,009716.

j. Unit Sludge Drying Bed

Hasil CO₂ *characterization* = 191,43631 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*
= 191,43631 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr
= 0,01924

untuk proses di unit *sludge drying bed* berkontribusi dampak *global warming* sebesar 0,01924.

k. Ke Badan Air

Hasil CO₂ *characterization* = 1,71E+01 kg

LCIA = Hasil CO₂ *characterization* : *normalization factor*
= 1,71E+01 kg CO₂/tahun : 9950 kg CO₂/pers/yr

= 1,72E-03

Untuk ke badan air berkontribusi dampak *global warming* sebesar 1,72E-03.

Hasil dari normalisasi pada proses pengolahan lumpur tinja dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan

| Impact Category | Unit | Total | Solid Separation Chamber | Balancing Tank | Sump Well | Oxydation Ditch |
|------------------------|---------------------------|------------|--------------------------|----------------|-----------|-----------------|
| Aquatic Eutrophication | PDF-m ² .yr | 0,00340918 | 0,000000 | 0,00021718 | 0,0001434 | 0,00068849 |
| Global Warming | kg CO ₂ /tahun | 15947,848 | 5315,307 | 2861,6898 | 37,215542 | 2962,5184 |
| Non-renewable Energy | MJ | 103431 | 32428,85 | 17849,935 | 485,02027 | 19312,918 |

Lanjutan Gambar 4.28 Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan

| Impact Category | Unit | Total | Distribution Box I | Clarifier | Distribution Box II | Polishing Pond |
|------------------------|---------------------------|------------|--------------------|------------|---------------------|----------------|
| Aquatic Eutrophication | PDF-m ² .yr | 0,00340918 | 0,000506198 | 0,00057545 | 8,75E-05 | 8,76E-05 |
| Global Warming | kg CO ₂ /tahun | 15947,848 | 2178,1428 | 2191,099 | 45,133143 | 51,544915 |
| Non-renewable Energy | MJ | 103431 | 14199,504 | 14403,123 | 432,79136 | 472,10874 |

Lanjutan Tabel 4.28 Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan

| Impact Category | Unit | Total | Polishing Pond | Mixing Tank | Sludge Drying Bed | ke Badan Air |
|------------------------|---------------------------|------------|----------------|-------------|-------------------|--------------|
| Aquatic Eutrophication | PDF-m ² .yr | 0,00340918 | 8,76E-05 | 0,00017514 | 0,000899132 | 2,90E-05 |
| Global Warming | kg CO ₂ /tahun | 15947,848 | 51,544915 | 96,678058 | 191,43631 | 17,082781 |
| Non-renewable Energy | MJ | 103431 | 472,10874 | 904,9001 | 2785,3889 | 156,46413 |

Berdasarkan Tabel 4.28 hasil perhitungan normalisasi dampak lingkungan oleh *software* SimaPro menunjukkan bahwa *global warming* adalah dampak yang cukup besar dari keseluruhan proses yaitu 1,60279876 diikuti *non renewable energy* sebesar 0,680467 dan *aquatic eutrophication* 0,000008358.

4.6.3 Analisis Pembobotan/*Weighting*

Weighting atau pembobotan adalah mengalikan *impact category* dengan *weighting factor*. Faktor pembobotan bernilai satu (Impact 2002+ A New Life *Impact Assessment* Methodology, 2003). Berikut hasil *weighting* keseluruhan proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan diagram *weighting* dapat dilihat pada Gambar 4.38.

Tabel 4.29 Hasil Pembobotan pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja

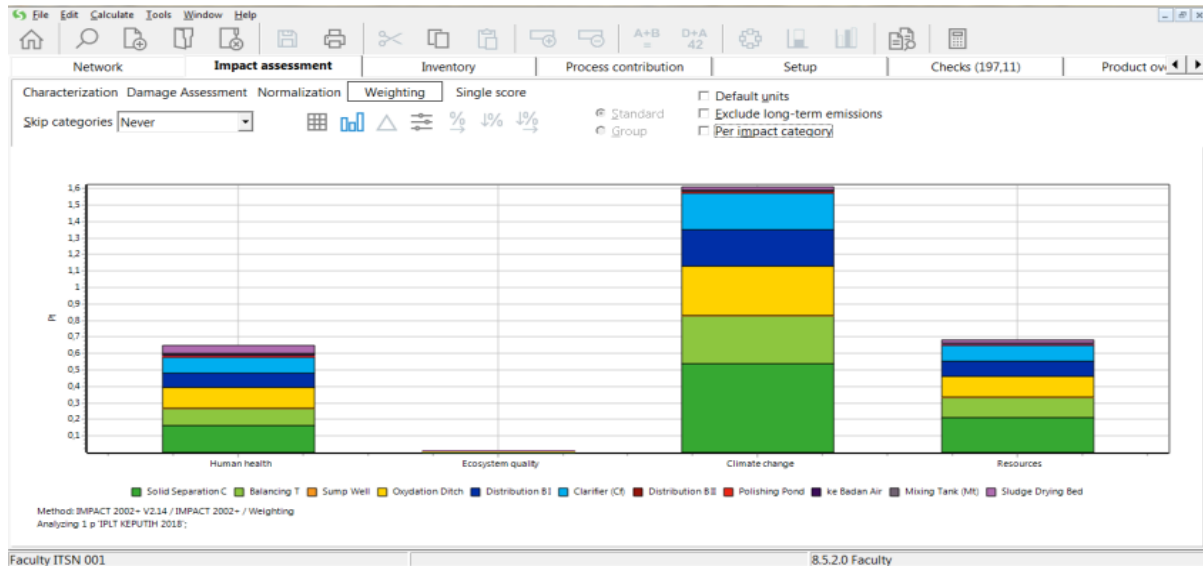
| <i>Damage Category</i> | Unit | Total | <i>Solid Separation Chamber</i> | <i>Balancing Tank</i> | <i>Sump Well</i> | <i>Oxydation Ditch</i> | <i>Distribution Box I</i> |
|------------------------|------|----------|---------------------------------|-----------------------|------------------|------------------------|---------------------------|
| Total | Pt | 2,951638 | 0,91793995 | 0,5067871 | 0,014734 | 0,5515016 | 0,40548246 |

| Damage Category | Unit | Total | Solid Separation Chamber | Balancing Tank | Sump Well | Oxydation Ditch | Distribution Box I |
|--------------------------|-------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| <i>Human Health</i> | Pt | 0,647619 | 0,16415635 | 0,0982595 | 0,007673 | 0,1228141 | 0,09029707 |
| <i>Ecosystem Quality</i> | Pt | 0,011947 | 0,003291294 | 0,001904 | 0,00011 | 0,0022528 | 0,00165634 |
| <i>Climate Change</i> | Pt | 1,610733 | 0,53684601 | 0,2890307 | 0,003759 | 0,2992144 | 0,21999243 |
| Damage Category | Unit | Clarifier (Cf) | Distribution Box II | Polishing Pond | Mixing Tank | Sludge Drying Bed | ke Badan Air |
| Total | Pt | 0,411731 | 0,012864 | 0,0139777 | 0,026842 | 0,085145 | 0,0046324 |
| <i>Human Health</i> | Pt | 0,093848 | 0,0053752 | 0,0055783 | 0,010953 | 0,0468156 | 0,0018487 |
| <i>Ecosystem Quality</i> | Pt | 0,001706 | 8,11E-05 | 8,52E-05 | 0,000166 | 0,0006649 | 2,82E-05 |
| <i>Climate Change</i> | Pt | 0,221301 | 0,0045584 | 0,005206 | 0,009764 | 0,0193351 | 0,0017254 |

Sumber: Hasil Perhitungan SimaPro 8.5

Dari Tabel 4.29 dapat diketahui bahwa kontribusi dampak lingkungan terbesar terdapat pada unit *solid separation chamber* sebesar 0,9179, unit *balancing tank* sebesar 0,5068 dan unit *oxidation ditch*

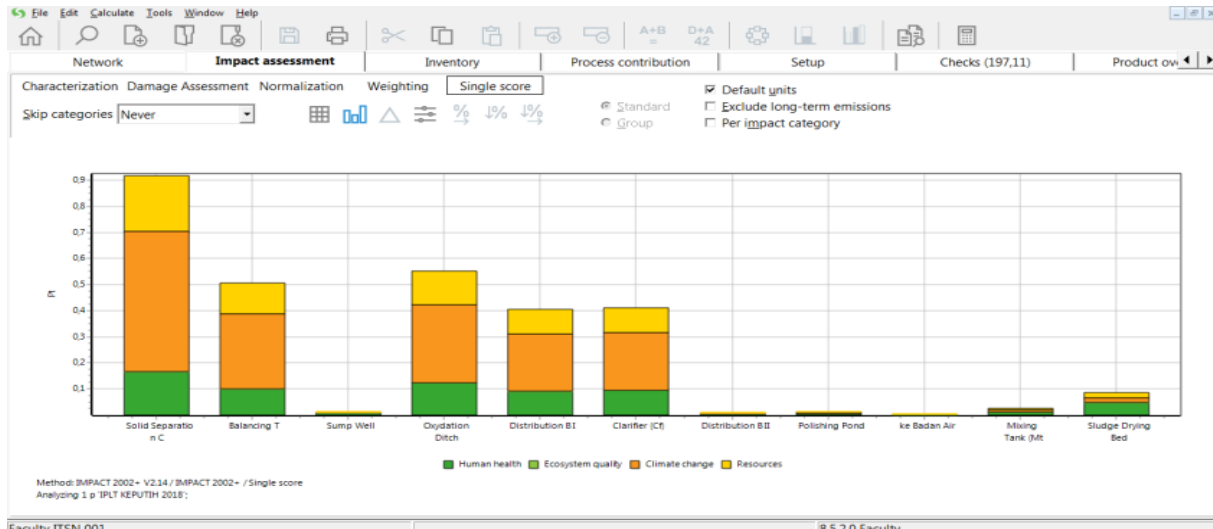
sebesar 0,5515. Kontribusi dampak lingkungan berasal dari hasil proses degradasi dan penggunaan energi listrik yang digunakan pada proses pengolahan lumpur tinja.



Gambar 4.38 Diagram *Weighting* pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja

4.6.4 Analisis *Single Score*

Single score adalah tahap terakhir dalam penilaian kontribusi dampak dengan total nilai dari 3 tahap sebelumnya. Hasil dari *single score* akan didapatkan nilai yang berkontribusi pada dampak lingkungan pada masing-masing unit proses pengolahan lumpur tinja. Berikut hasil *single score* yang dapat dilihat pada Gambar 4.39 untuk proses pengolahan lumpur tinja.



Gambar 4.39 Diagram *Single Score* pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja

4.6.5 Tahap Interpretasi Data (*Interpretation Data*)

Langkah terakhir dalam life cycle assessment adalah untuk menginterpretasikan hasil dari life cycle impact assessment dapat disertakan saran untuk langkah perbaikan kinerja lingkungan.

4.7 Penentuan Prioritas Alternatif Perbaikan

Penentuan alternatif digunakan untuk mengurangi dampak dan dilakukan upaya perbaikan dalam proses pengolahan. Alternatif yang dihasilkan tidak hanya satu, namun ada beberapa alternatif sebagai pertimbangan dalam mengambil keputusan yang akan ditentukan dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP) dengan aplikasi *expert choice*. Berikut kuisioner prioritas alternatif sebagai langkah pengurangan kontribusi dampak *aquatic eutrophication*, *global warming* dan *non renewable energy* pada proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih yang diambil dari beberapa sumber literatur:

Tabel 4.30 Alternatif Untuk Mengurangi Dampak Lingkungan

| No | Masalah | Alternatif | Fungsi |
|----|---|--|---|
| 1. | Adanya nutrisi yang melebihi baku mutu sehingga terjadi alga bloom | Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan (a) | Mengurangi kandungan nutrisi dalam effluen agar aman ketika dilepas ke lingkungan |
| 2. | Proses pengolahan air limbah domestik dan penggunaan energi listrik berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca | Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal (b) | Mengurangi kontribusi emisi gas karbondioksida sebagai upaya pengurangan kontribusi <i>global warming</i> |
| 3. | Mesin pompa sering mengalami penyumbatan yang mengganggu kinerja proses selanjutnya | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan (c) | Proses pengolahan dapat berjalan dengan efektif dan mengurangi energi yang terbuang pada saat penyumbatan mesin pompa |

Sumber :

- a. Hernaningsih, T. 2014. Aplikasi Membrane Bioreactor (Mbr) untuk Proses Daur Ulang Air Limbah. 7(2), hal 109-118.
- b. Gusniar, I., N. 2014. Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal di Unit Utility PT ABC. **Jurnal Ilmiah Solusi**. 1(1), hal 77-86.
- c. Suparno. 2013. Optimisasi Penggunaan Energi Listrik Pada Unit Pengolahan Air Minum Selat Panjang. **Jurnal ELKHA**. 5 (1), hal 20-25.

4.8 Pemilihan Alternatif Terbaik dengan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Pemilihan alternatif berdasarkan permasalahan yang kompleks dalam struktur yang hirarkis melalui hubungan antara tujuan, kriteria, dan alternatif. Kemudian diberi penilaian numerik tentang prioritas dari alternatif tersebut dengan alternatif lainnya. Dari pemilihan prioritas tersebut akan dilakukan analisis untuk mendapatkan alternatif yang memiliki prioritas tertinggi dan berperan untuk mempengaruhi hasil dari analisis. Tahapan dalam analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi kriteria dalam penentuan alternatif
2. Menyusun hirarki dengan kriteria yang dilakukan secara kajian teoritis
3. Menentukan bobot prioritas dengan perbandingan antar alternatif
4. Mengukur konsistensi dimana pemberian nilai dalam perbandingan antar alternatif

4.9 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

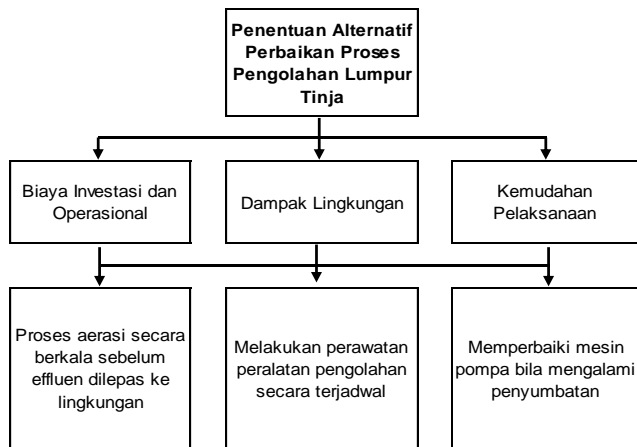
Dari hasil *life cycle assessment* (LCA) diketahui grafik perbandingan dampak lingkungan dan telah dianalisis alternatif yang dapat digunakan. Terdapat tiga kriteria yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Biaya Investasi dan Pengolahan
Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja terkait biaya pelatihan. Biaya pengolahan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pengolahan alternatif.

2. Dampak Lingkungan
Dampak lingkungan merupakan seberapa besar pengaruh alternatif terhadap optimalisasi reduksi dampak yang dianalisis pada *life cycle assessment* (LCA).
3. Kemudahan Pelaksanaan
Kemudahan dalam pelaksanaan merupakan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif terbilang rendah.

4.10 Penyusunan Hirarki Alternatif

Permasalahan yang akan diselesaikan, diuraikan dalam bentuk yaitu unsur yang terpisah. Fokus permasalahan dibuat secara hirarkis dengan permasalahan utama dijadikan sebagai prioritasnya. Permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah pemilihan alternatif paling optimum yang dapat dilakukan pada proses pengolahan. Berikut struktur hirarki proses pengolahan lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40 Hirarki Proses Pengolahan Lumpur Tinja

Pemilihan alternatif pada proses pengolahan lumpur tinja diawali dengan melakukan pembobotan perbandingan pada masing-masing kriteria. Proses pemilihan terdiri dari 3 alternatif yaitu proses secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan, melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal dan memperbaiki mesin pompa bila mengalami

penyumbatan. Ketiga alternatif tersebut akan dibandingkan pada setiap kriteria dengan penilaian prioritas pada salah satu alternatif. Dari hasil perbandingan akan diperoleh satu alternatif paling optimum.

4.11 Alternatif Terbaik pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja

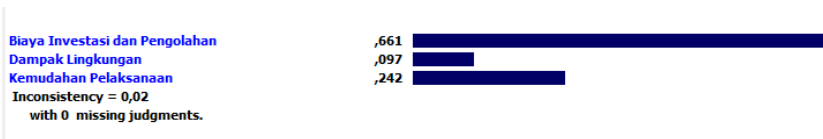
Penentuan alternatif terbaik berdasarkan penyebaran kuisioner kepada responden yang telah ahli dan memahami kegiatan tersebut. Dari kuisioner tersebut didapatkan alternatif yang memungkinkan untuk diaplikasikan. Pemilihan responden sebanyak 7 orang yang terdiri dari penanggung jawab edukasi dan proses, penanggung jawab edukasi dan operator, penanggung jawab edukasi dan administrasi, satgas dan tiga operator.

Ketujuh responden memberikan penilaian pada kriteria dan alternatif sesuai dengan kuisioner yang telah diberikan. Dari hasil kuisioner tersebut dilakukan penginputan data ke aplikasi *expert choice*. Berdasarkan hasil kuisioner dilakukan pembobotan kriteria dan alternatif, ditunjukkan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Pembobotan Pemilihan Kriteria Alternatif

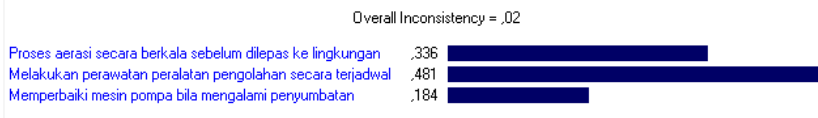
| | Biaya Investasi dan Pengolahan | Dampak Lingkungan | Kemudahan Pelaksanaan |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Biaya Investasi dan Pengolahan | | 5,876 | 3,160 |
| Dampak Lingkungan | | | 2,863 |
| Kemudahan Pelaksanaan | Incon : 0,02 | | |

Dari Tabel 4.31 diketahui bahwa nilai pembobotan dari ketujuh responden untuk biaya investasi dan pengolahan dengan dampak lingkungan adalah 5,876, biaya Investasi dan pengolahan dengan kemudahan pelaksanaan adalah 3,160 dan dampak lingkungan dengan kemudahan pelaksanaan adalah 2,863. Nilai pembobotan berdasarkan akumulasi pemilihan yang telah dilakukan masing-masing responden. Berikut hasil penilaian kriteria pada Gambar 4.41 dan penilaian alternatif pada Gambar 4.42.



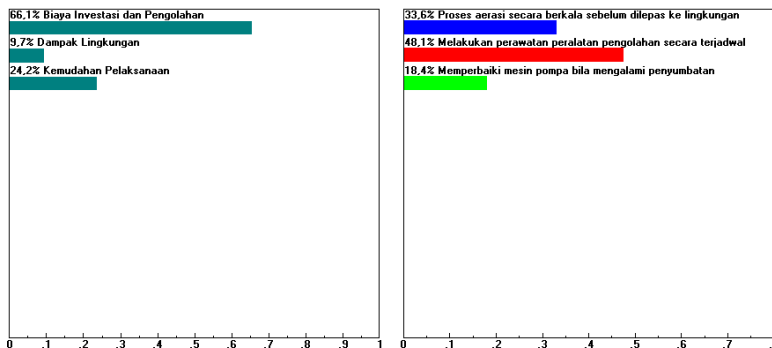
Gambar 4.41 Penentuan Kriteria Terpilih

Dari Gambar 4.41 dapat dilihat kriteria biaya investasi dan pengolahan memiliki tingkat kepentingan sebesar 0,661, kriteria dampak lingkungan sebesar 0,097 dan kriteria kemudahan pelaksanaan sebesar 0,242, sehingga total dari 3 kriteria adalah 1,0 dengan kepentingan terbesar adalah kriteria biaya investasi dan pengolahan.



Gambar 4.42 Penentuan Alternatif Terpilih

Dari Gambar 4.42 alternatif proses aerasi sebelum effluen dilepas ke lingkungan memiliki tingkat kepentingan sebesar 0,336, alternatif melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal sebesar 0,481 dan alternatif memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan sebesar 0,184. Gambar 4.43 menampilkan pemilihan kriteria dan alternatif.



Gambar 4.43 Diagram *Dynamic* Kriteria dan Alternatif Proses Pengolahan Lumpur Tinja

Dari Gambar 4.43 diketahui bahwa 66,1% responden memilih biaya investasi dan pengolahan sebagai penentuan kriteria yang akan dipilih. Dari ketiga alternatif tersebut 48,1% responden memprioritaskan pada alternatif melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal sebagai langkah reduksi kontribusi dampak lingkungan dengan memperhatikan kriteria prioritas biaya investasi dan pengolahan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) adalah *global warming* sebesar 15947,848 kg CO₂/tahun, *non renewable energy* sebesar 103431 MJ dan *aquatic eutrophication* sebesar 0,003409 PDF.m².y.
2. Cara mengurangi kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) adalah melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal dengan nilai sebesar 48,1%.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat diberikan saran yang diharapkan bermanfaat bagi penelitian selanjutnya antara lain:

1. Beban pengolahan yang digunakan bukan hanya beban organik *biodegradable* saja, namun beban organik dan anorganik pengolahan untuk mengetahui dampak keseluruhan dari proses pengolahan lumpur tinja.
2. Keterkaitan dengan stakeholder harus dipahami untuk mempermudah dalam memenuhi kelengkapan data karena proses *running* LCA pada SimaPro 8.5 membutuhkan data yang mendetail dari pihak yang terkait.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, A., A. 2007. **Aplikasi Software SimaPro 5.0 Sebagai Alat Prediksi Reduksi Pencemar Lingkungan (Studi Kasus PT Semen Gresik Tbk)**. Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Abuka, M. 2012. Eutrophication in Shallow Lakes and Water Dams. In. **A Magazine for the environmental centre for Arab Towns**. Issue 2 December 2012. Eu.envirocitiesmag.com/article/pdf/article.pdf.
- Ahtiainen, H., Artell, J., Elmgren, R., Hasselstrom, L., dan Hakansson, C. 2014. Baltic Sea nutrient reductions - What should we aim for? **Journal of Environmental Management**, 145, hal 9-23.
- Amar, S. 2014. **Sistem Pendukung Keputusan Pengukur Kualitas Software Dengan Menerapkan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)**. Tugas Akhir Universitas Dian Nuswantoro. Semarang.
- Anderson, D., M., J., M., Burkholder, W., P., Cochlan, P.,M., Gilbert, C.,J., Gobler, C.,A., Heil, R.,M., Kudela, M.,L., Parsons, J.,E., Jack, R., D.,W., Townsend, V., L., Trainer, G., A., dan Vargo. 2008. Harmful Algal Blooms And Eutrophication: Examining Linkages From Selected Coastal Region of The United States, **Harmful Algae**. 23.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., Maritta, R., dan Sanchirico, R. 2000. Advanced Oxidation Processes for The Treatment of Mineral Oil Contaminated Wastewater. **Water Resource** 34(2), hal 620-628.
- Ardiyanto, D. 2015. **Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Perumahan Dengan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process)**. Universitas Nusantara Persatuan Guru Republik Indonesia. Kediri.
- Atlas, R., M., dan Bartha, R. 1992. **Hydrocarbon Biodegradation and Oil Spill Bioremediation, Advances in Microbial Ecology**. 12, hal 287-338.
- APHA-AWWA-WEF. 2012. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**. American Public Health Association, Washington DC.

- Azapagic, A., dan Clift, R. 1999. Life Cycle Assessment and Multi Objective Optimisation. **Journal of Cleaner Production**, 7(2), hal 135-143.
- Baldacci, S. 2002. Respiratory Effects of Environmental Pollution: Epidemiological Data. 57(3-4), hal 156-60.
- Bhattacharjee, P., K. 2010. Global Warming Impact on the Earth. **International Journal of Environmental Science and Development**. 1(3), hal 219-220.
- Bennaceur, K., Gupta, N., Monea. M., Ramakrishnan, T., S., Randen., T., Sakurai, S., dan Whittaker, S. 2004. **CO₂ Capture and Storage – A Solution Within, Oilfield Review, Autumn**. Hal 44 – 61.
- Boggia, A, Paolotti, L., dan Castellini, C. 2009. Environmental Impact Evaluation of Conventional, Organic and Organic-Plus Poultry Production System Using Life Cycle Assessment. **World'S Poultry Science**, 66.
- Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau. B., dan Jedrzejak, S. 2012. Comparative Life Cycle Assessment of Water Treatment Plants. **Desalination**, 284, hal 42-54.
- Boudou, A dan Ribeyre, F. 1997. Aquatic Ecotoxicology: From the Ecosystem to the Cellular and Molecular Levels. **Environmental Health Perspectives**. 105(1), hal 21-35.
- Bruijn, Hans De, Duin, Van R., dan Huijbregts, Mark A. J. 2002. **Handbook on Life Cycle Assessment**. Kluwer Academic Publisher: New York.
- Bunea, F., Ciocan, G., D. ,Oprina, G., Baran, G., dan Babutanu, C., A. 2010. Hydropower Impact on Water Quality. **Environmental Engineering and Management Journal**. 9(11), hal 1450-1454.
- Chang, J., Kyung, D., and Lee, W. 2014. Estimation of Greenhouse Gas (Ghg) Emission from Wastewater Treatment Plants and Effect of Biogas Reuse on Mitigation". **Advances in Environmental Research**, 3(2), hal 173-183.
- Donald, D.B., Bogard, M.J., Finlay, K., dan Leavitt, P., R. 2011. Comparative Effects of Urea, Ammonium, and Nitrate on Phytoplankton Abundance, Community Composition, and Toxicity in Hypereutrophic Freshwaters. **Limnology and Oceanography**. 56(6), hal 2161-2175.

- Ehhalt, D., H. 1994. On the Photochemical Oxidation of Natural Trace Gases and Man-Made Pollutants in The Troposphere. **The Science of the Total Environment**. 143, hal 1-15.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K. dan Klüppel, H.,J. 2006. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 And ISO 14044. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 22(2), hal 80-85.
- Firdus dan Muchlisin Z., A. 2010. Degradation Rate Of Sludge and Water Quality of Tangki septik (Water Closed) by Using Starbio and Freshwater Catfish as Biodegradator. **Jurnal Natural**, 10(1).
- Gaol, M., L. 2017. **Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah Pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo)**. Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Garno, Y., S. 2012. Dampak Eutrofikasi Terhadap Struktur Komunitas dan Evaluasi Metode Penentuan Kelimpahan Fitoplankton. **Jurnal Teknik Lingkungan**. 13(1), hal 67-74.
- Gerardi, M., H. 2006. **Wastewater Bacteria**. New Jersey: John Wiley dan Sons. 19, hal 4-9.
- Goedkoop M., dan Spriensma, R. 2001. The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. **Methodology Report**". Amersfoort, Third edition.
- Gubernur Jawa Timur. 2009. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Udara Ambien Dan Emisi Sumber Tidak Bergerak Di Jawa Timur**. Surabaya: Gubernur Jawa Timur.
- Gubernur Jawa Timur. 2013. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik**. Surabaya: Gubernur Jawa Timur.
- Guinee, I., B.,Gorree,M., Heijungs,R.,Huppes, G., Kleijn, R., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., A., de Bruijn, H., van Duin, R., dan Huijbregts, M., A., J. 2002. Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards. **Kluwer Academic Publishers**. Dordrecht

- (Hardbound, ISBN 1-4020-0228-9; Paperback, ISBN 1-4020-0557-1. Leiden, Netherlands.
- Gunawan, Y. 2006. **Peluang Penerapan Produksi Bersih Pada Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Waste Water Treatment Plant #48 Studi Kasus di PT Badak NGL Bontang**. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Haas, G., Geier, U., Frieben, B., dan Kopke, U. 2005. **Estimation of Environmental Impact of Conversion to Organic Agriculture in Hamburg Using The Life-Cycle-Assessment Method**. University of Bonn. Germany.
- Hakkinen, T., Helin, T., Antuña, C., Supper, S., Schiopu, N., dan Nibel, S. 2013. Land Use as an Aspect of Sustainable Building. **International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning**. 1(1), hal 21-41.
- Halder, P. K., Paul, N., Joardder, M., U., H., dan Sarker, M. 2015. Energy Scarcity And Potential of Renewable Energy in Bangladesh. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. 51, hal 1636-1649.
- Hamali, S. 2015. Pengambilan Keputusan Manajemen Menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP). **Binus**. Jakarta.
- Hammer, M., J., dan Viessman, W. 2005. **Water Supply and Pollution Control 8th Edition**. USA: Prentice Hall.
- Harjanto. 2008. Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional. 1, hal 39-50.
- Harjanto, T., R., Fahrurrozi, M., dan Bendiyasa, M., I. 2014. **Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa**. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Jurnal Rekayasa Proses, 6(2), hal 51-58.
- Haye, S., Slaveykova, V., I., dan Payet, J. 2007. Terrestrial Ecotoxicity And Effect Factors Of Metals In Life Cycle Assessment (LCA). **Chemosphere**. 68, hal 1489–1496.
- Helman, D. 2011. Life Cycle Assessment an Executive Overview of Applications, Market Drivers and Business Benefits. **Green Research**. 7(2), hal 1-10.

- Hermawan. 2013. Peran Life Cycle Analysis (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca. Surakarta: **Konferensi Nasional Teknik Sipil 7.**
- Hernaningsih, T. 2014. Aplikasi Membrane Bioreactor (MBR) untuk Proses Daur Ulang Air Limbah. 7(2), hal 109-118.
- Herumurti, W dan Dian G. 2016. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya. 5(1), hal D13-D18.
- Hospido, A., Moreira, M. T., dan Feijoo, G. 2003. Simplified Life Cycle Assessment Of Galician Milk Production. **International Dairy Journal**, 13(10), hal 783-796.
- Humbert, S., Schryver, A., D., Bengoa, X., Margni, M., dan Jolliet, O. 2003. A user guide for the Life Cycle Impact Assessment Methodology IMPACT 2002+. **International Journal of Life Cycle Assessment**.
- Indartono. 2005. Krisis Energi di Indonesia: Mengapa dan Harus Bagaimana". Inovasi Online - Vol.5/XVII/November 2005.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste.
- Johnson, P., T., Chase, J., M., Dosch, K., L., Hartson, R., B., Gross, J., A., Larson, D., J., Sutherland, D., R. dan Carpenter, S., R. 2007. Aquatic Eutrophication Promotes Pathogenic Infection In Amphibians. **Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States Of America**. 104 (40), hal 15781-15786.
- Jolliet, O., Brent, A., Goedkoop, M., Itsubo, N., Mueller-Wenk, R., Peña, C., Schenk, R., Stewart, M., dan Weidema, B. 2003a. **LCIA Definition Study of the SETAC-UNEP Life Cycle Initiative**. UNEP.
- Joko, T dan Fitri E. 2012. Kondisi dan Upaya Strategi Penanganan Sanitasi di Kota Batam. 11(1), hal 43-53.
- Jonrizal. 2001. **Evaluasi Efisiensi Kadar Total Suspended Solid pada Solid Separation Chamber di IPLT Keputih, Surabaya**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kautzar, P., Galuh, M., dan Zuhria. 2015. **Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Kulit**

- Menggunakan Metode LCA dan ANP.** Universitas Brawijaya. Malang.
- Kim, D., Thoma, G., Nutter, D., Milani, F., Ulrich, R., dan Norris, G. 2013. Life Cycle Assessment of Cheese and Whey Production In The USA. **Journal of Life Cycle Assessment** 18(5), hal 1019-1035.
- Kloepffer, W. 1997. Life Cycle Assessment from the Beginning to the Current State. **Environmental Science and Pollution Research**. 4(4), hal 223-228.
- Kulczycka, J., Lelek, L., Lewandowska, A., dan Zarebska, J. 2015. Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management-Comparison of Results Using Different LCA Models. 24(1), hal 125-140.
- Kumar, A., Dhall, P., dan Rita, K. 2010. Redefining BOD:COD Ratio Of Pulp Mill Industrial Wastewaters in BOD Analysis by Formulating a Spesific Microbial Seed. **International Biodeterioration and Biodegradation**. 64(1), hal 197-202.
- Lailaty, I., T. 2017. **Dampak Perubahan Iklim Global terhadap Stabilitas Kehidupan: Pembangunan Vs Konservasi.** Tugas Akhir. Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada.
- Laili, N. 2014. **Analisis dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit minyak bumi tenaga panas bumi dengan teknologi flash steam system.** Universitas Indonesia Library.
- Latuconsina, H. 2010. Dampak Pemanasan Global Terhadap Ekosistem Pesisir dan Lautan. **Jurnal Ilmiah agribisnis dan Perikanan (agrian UMMU-Ternate)**. Volume 3 Edisi 1, hal 30-37.
- Lean, H., H. dan Smyth, R. 2009. CO₂ Emissions, Electricity Consumption and Output in Asean. **Development Research Unit Discussion Paper (DEVDP)**. Hal 09-13.
- Lestari, D., R., dan Yudihanto, D. 2013. Pengolahan Lumpur Tinja Pada Sludge Drying Bed IPLT Keputih Menjadi Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Biodrying. 2(2), hal 133-137.
- Louis, G.1990. Environmental Ionizing Radiation. **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)**.

- Lubis, A. 2007. Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan. **Jurnal Teknik Lingkungan**, 8(2), hal 155-162.
- Makkasau, K. 2012. **Penggunaan Metode AnalyticalHierarchy Process (AHP) dalam Penentuan Prioritas Pogram Kesehatan (Studi Kasus Program Promosi Kesehatan)**. Universitas Diponegoro.Semarang.
- Menteri Lingkungan Hidup. 2014. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Domestik**. Indonesia.
- MetCalf dan Eddy. 1991. **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse**, 4th edition. New York : McGraw Hill Book Co.
- MetCalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse**, 4th edition. New York : McGraw Hill Book Co.
- Moertinah, S. 2010. Kajian Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi. **Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri**. 1(2). Semarang: Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Semarang.
- Monteith, H., D., Sahely, H., R., MacLean, H., L., dan Bagley, D., M. 2005.A Rational Procedure for Estimation of Greenhouse-Gas Emissions from Municipal Wastewater Treatment Plants. **Water Environment Research**. 77(4), hal 390–403.
- Mulyani, Riani, W., dan Wisnu W. 2012. Sebaran Spasial Spesies Penyebab Harmful Algal Blooms (HABs) di Lokasi Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara pada Bulan Mei 2011. **Jurnal Akuatika**. 3(1), hal 28-39.
- Nazar, H., Kasri, A., dan Saam, Z. 2010. Kebijakan Pengendalian Pencemaran Sumber Air Bersih Perumahan Sederhana di Kota Pekanbaru (Kasus di Kecamatan Tampan). **Journal of Environmental Science**, ISSN 1978-5283: 63-80.
- Nigri, E., M., Barros, A., C., Rocca, S., D., F., dan Filho, E., R. 2014. Assessing Environmental Impacts Using A

- Comparative LCA of Industrial and Artisanal Production Processes: "Minas Cheese" Case. 34(3), hal 522-531.
- Nuraeni, R dan Ashuri, A. 2018. Nilai Faktor Emisi Spesifik Air Limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal. 4(1), hal 37-48.
- Oktarina, D., dan Helmi, H. 2013. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus: IPLT Sukawiatan). **Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan**. 1(1), hal 74-79.
- Pall, E., Niculae, M., Kiss, T., Andru, C. D., dan Splanu, M. 2013. Human Impact on the Microbiological Water Quality of the Rivers. **Journal of Medical Microbiology**. 62(11), hal 1635-1640.
- Palupi, A., H., Ishardita, P., T., dan Ratih, A., S. 2014. Evaluasi Dampak Lingkungan Produk Kertas dengan Menggunakan Life Cycle Assessment (LCA) dan Analitic Network Process (ANP). **Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri**. 2 (5), hal 2.
- Pennington, D., W., Margni., M., Ammann, C., dan Jolliet, O. 2005. Multimedia Fate and Human Intake Modeling: Spatial Versus Nonspatial Insights for Chemical Emissions in Western Europe. **Environ Sci Technol**, 39(4), hal 1119-1128.
- Prayudi, T., R. 2014. Potensi Pendapatan Retribusi Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Talang Bakung, Kota Jambi, Provinsi Jambi. 6(2), hal 78-139.
- Pre. 2014. All About SimaPro 8. <URL : <https://www.pre-sustainability.com/>
- Pujadi. 2013. Analisis Sustainability Packaging dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA).
- Putri, A., E. 2016. **Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Fosil dan Terbarukan Terhadap Emisi Karbondioksida**. Tugas Akhir. Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro, Semarang.
- Putri, P., H. 2017. **Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)**. Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.

- Putri. 2014. **Evaluasi Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Susu KUD Batu dengan Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) dan Pendekatan Analytical Network Process (ANP)**. Universitas Brawijaya. Malang.
- Reischer, G., H., Haider, J., M., Sommer, R., Stadler, H., Keiblinger, K., M., Hornek, R. W., Zerobin, W., Mach, R., L., dan Farnleitner, A., H. 2008. Quantitative Microbial Faecal Source Tracking with Sampling Guided by Hydrological Catchment Dynamics. **Environmental Microbiology**. 10(2), hal 2598-2608.
- Richard, G., F. 1989. **Appropriate for Water Supply and Sanitation, Transportation**. Water and Telecommunication Department of The World Bank.
- Robert, F. 2005. Is It Time to Shoot for the Sun. **Science Journal**. 309(5734), hal 548-551.
- Rosmeika, Sutiarto, L., dan Suratmo, B. 2009. Pengkajian Daur Hidup Ampas Tebu Di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta Menggunakan *Metode Life Cycle Assessment (LCA)*. **Jurnal Enjiniring Pertanian**. 8(2). Universitas Gadjah Mada.
- Rustadi. 2009. Eutrofikasi Nitrogen dan Fosfor Serta Pengendaliannya dengan Perikanan di Waduk Sermo. **Jurnal Manusia dan Lingkungan**. 16(3), hal 176-186.
- Samiaji, T. 2009. CO₂ sebesar 55% menjadi kontribusi utama dalam pemanasan global. 10(3), hal 92-95.
- Santoso, H., dan Ronald. 2012. **Rekayasa Nilai dan Analisis Daur Hidup Pada Model Alat Potong Kuku Dengan Limbah Kayu di CV Piranti Works**. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Septianto, F., Widodo, A., dan Sinaga, N. 2015. Analisis Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat Pada Cage Ball Bantalan. **Jurnal Teknik Mesin**. 4(4), hal 397-407.
- Simanjuntak, M., dan Kamlasi Y. 2012. **Sebaran Horizontal Zat Hara di Perairan Lamalera, Nusa Tenggara Timur**. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia dan Politeknik Pertanian Negeri UNDANA. Kupang NTT. 17(2), hal 99- 108.

- Simbolon, A., R. 2016. Pencemaran Bahan Organik dan Eutrofikasi di Perairan Cituis, Pesisir Tangerang. 3(2), hal 109-118.
- Singh, P., dan Kansal, A. 2018. Energy and Ghg Accounting for Wastewater Infrastructure. **Resources, Conservation and Recycling**. 128, hal 499–507.
- Siracusa, V., Ingrao, C., Giudice, A., L., Mbohwa, C., dan Rosa, D., M. 2014. Environmental Assessment of A Multilayer Polymer Bag for Food Packaging and Preservation: An LCA Approach. **Food Research International**, 62, hal 151-161.
- Siska, R., S., N. 2010. **Pengaruh Waktu Tinggal Dan Komposisi Bahan Baku Pada Proses Fermentasi Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Produksi Biogas**. Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sitepu, H. 2011. **Model Pengembangan Rusunawa Ramah Lingkungan Melalui Optimasi Pelaksanaan Green Construction di Batam**. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sivasakthivel, T., dan Reddy, S., K., K. 2011. Ozone Layer Depletion and Its Effects. **International Journal of Environmental Science and Development**. 2(1), hal 30-37.
- Sonnemann, G., Castells, F., dan Schuhmacher, M. 2003. **Integrated Life Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes**. Lewis Publishers: Boca Raton, FL, USA.
- Stephan, P., Saner, D., dan Koehler, A. 2011. The Environmental Relevance of Freshwater Consumption in Global Power Production. **International Journal of Life Cycle Assessment**. 16, hal 580-591.
- Sugiura, N., M. Utsumi, B., Wei, N., Iwami, K., Okano, Y., Kawauchi, T., dan Maekawa. 2004. **Assessment for the Complicated Occurrence of Nuisance Odours from Phytoplankton and Environmental Factors in a Eutrophic Lake**. Lake and Reservoirs: Res and Mqn. 9, hal 195-201.
- Sugiyono, A. 2000. Renewable Energy Development Strategy in Indonesia: CDM Funding Alternative. **Proceeding of the**

- 5th Inaga Annual Scientific Conference and Exhibition.**
Inaga, Yogyakarta.
- Sugiyono, A. 2002. Penggunaan Energi dan Pemanasan Global: Prospek bagi Indonesia. **Technical Report**. March 2002.
- Suparno. 2013. Optimisasi Penggunaan Energi Listrik Pada Unit Pengolahan Air Minum Selat Panjang. **Jurnal ELKHA**. 5(1), hal 20-25.
- Supriyono. 2007. **Sistem Pemilihan Pejabat Struktural dengan Metode AHP**. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Yogyakarta.
- Surmaini, E., E. dan Runtuwun I., L. 2011. Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi Perubahan Iklim. **Jurnal Litbang Pertanian**, 30(1).
- Susana, T., dan Suyarso. 2008. Penyebaran Fosfat dan Deterjen di Perairan Pesisir dan Laut Cirebon Jawa Barat. **Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI**. Volume. 34: 117-131.
- Sutapa, I. 2006. Pengaruh Kepadatan *Myriophyllum* sp terhadap Jumlah Fecal Coliform Di Situ Cibuntu. **Pusat Penelitian Limnologi. LIPI**. Jakarta.
- Sutrisno, C., T dan Suciastuti, E. 2002. **Teknologi Penyediaan Air Bersih**. Rineka Cipta: Jakarta 32, 73.
- Tarigan, M., S. dan Edwar. 2003. Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) di Perairan Raha. Makara, **Sains**. 7(3), hal 109-119. Sulawesi Tenggara.
- Tembo, R. 2017. The Impact of Ocean Acidification on Aquatic Organisms. **Journal of Environmental Analytical Toxicology**. 7(3), hal 469.
- Thomas E., M. dan Edgar G., H. 2001. The Human Toxicity Potential and a Strategy for Evaluating Model Performance in Life Cycle Impact Assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment (LCA)**. 6(2), hal 106 – 109.
- Tietenberg, T. dan L. Lewis (2011). **Environmental and Natural Resource Economics**. Pearson Education, New jersey, USA.
- Tominanto. 2012. **Sistem Pendukung Keputusan Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Untuk Penentuan Prestasi Kinerja Dokter Pada RSUD Sukoharjo**. APIKES Citra Medika Surakarta. Surakarta.

- Triatmodjo, P. 1993. **Tinjauan Mikrobiologi Makanan, Minuman dan Air Pada Beberapa Rumah Sakit di Jakarta**. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta. Indonesia.
- Tungka, A., W., Haeruddin dan Ain, C. 2016. Konsentrasi Nitrat dan Ortofosfat di Muara Sungai Banjir Kanal Barat dan Kaitannya dengan Kelimpahan Fitoplankton Harmful Alga Blooms (HABs). **Saintek Perikanan**. 12(1), hal 40-46.
- Tutorial SimaPro 8.3, diakses pada 03 Agustus 2018.
- UNFCCC. 2006. **Greenhouse Gas Inventory Submission. Data compillation available on UNEP's Geodata Portal (geodata.grid.unep.ch)**. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn.
- Vandecasteele, I., Bianchi, A., Silva, F., B., Lavalle, C., dan Batelaan, O. 2014. Mapping Current and Future European Public Water Withdrawals and Consumption. *Hydrology. Earth System. Science*. 18, hal 407-416.
- Yani, M., Purwaningsh, I., dan Munandar, M., N. 2012. Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Gula pada Pabrik Gula Tebu. **E Jurnal Agroindustri Indonesia**. 1(1), hal 60-67.
- Wahyuni, S., P dan Suarsana, P. 2011. Global Warming: Ancaman Nyata Sektor Pertanian dan Upaya Mengatasi Kadar CO₂ Atmosfer. **Jurnal Sains dan Teknologi**. 11(1), hal 31-46.
- Winata, I., N., A. 2000. Perbandingan Kandungan P dan N Total dalam Air Sungai di Lingkungan Perkebunan dan Persawahan. **Jurnal Ilmu Dasar**, Vol. 1 No.1. Universitas Jember. Jember.
- Zhu, Q. dan X. Peng. 2012. The Impacts of Population Change on Carbon Emissions in China during 1978–2008. **Environmental Impact Assessment Review**. 36(1).

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Penentuan Prioritas Alternatif

Sebelumnya saya mengucapkan terima kasih atas kesediaan Ibu/Bapak responden yang telah meluangkan waktu untuk mengisi kuisioner. Perkenalkan saya Elvin Nur Nadhifatin, mahasiswi S1 Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya. Saat ini saya sedang melakukan penelitian mengenai Analisis Kontribusi Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan dari adanya kuisioner ini untuk menentukan prioritas alternatif mengurangi kontribusi dampak lingkungan dari proses pengolahan lumpur tinja. Berdasarkan penelitian yang saya lakukan menggunakan *software* SimaPro 8.5 diketahui bahwa proses pengolahan lumpur tinja berkontribusi dampak terhadap lingkungan yaitu *aquatic eutrophication*, *global warming* dan *non renewable energy*, oleh karena itu saya memberikan alternatif perbaikan dalam mengurangi timbulnya kontribusi dampak.

Nama Responden :

Jabatan Responden :

Berikut alternatif pilihan yang saya rencanakan :

Tabel 1. Alternatif Untuk Mengurangi Dampak Lingkungan

| No | Masalah | Alternatif | Fungsi |
|----|---|--|---|
| 1. | Adanya nutrisi yang melebihi baku mutu sehingga terjadi alga bloom | Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan (a) | Mengurangi kandungan nutrisi dalam effluen agar aman ketika dilepas ke lingkungan |
| 2. | Proses pengolahan air limbah domestik dan penggunaan energi listrik berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca | Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal (b) | Mengurangi kontribusi emisi gas karbondioksida sebagai upaya pengurangan kontribusi <i>global warming</i> |

| No | Masalah | Alternatif | Fungsi |
|----|---|--|---|
| 3. | Mesin pompa sering mengalami penyumbatan yang mengganggu kinerja proses selanjutnya | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan (c) | Proses pengolahan dapat berjalan dengan efektif dan mengurangi energi yang terbuang pada saat penyumbatan mesin pompa |

Sumber :

- Hernaningsih, T. 2014. Aplikasi Membrane Bioreactor (Mbr) untuk Proses Daur Ulang Air Limbah. 7(2), hal 109-118.
- Gusniar, I., N. 2014. Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal di Unit Utility PT ABC. **Jurnal Ilmiah Solusi**. 1(1), hal 77-86.
- Suparno. 2013. Optimisasi Penggunaan Energi Listrik Pada Unit Pengolahan Air Minum Selat Panjang. **Jurnal ELKHA**. 5(1), hal 20-25.

Responden diminta untuk memberikan skala prioritas terhadap perbandingan alternatif berikut dengan memberikan tanda lingkaran. Berikut contoh pemilihan prioritas yang dapat dilakukan oleh responden. Responden memilih angka 8 ke arah kiri menunjukkan memilih prioritas alternatif 1 dengan nilai 8.

| Alternatif | Prioritas | | | | | | | | | | | | | | | | | Alternatif |
|--------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------|
| Alternatif 1 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Alternatif 2 |

Dalam Tabel pemilihan terdapat rentang angka 1 sampai 9 ke kiri dan ke kanan akan memberikan arah prioritas. Semakin ke arah kiri memberikan prioritas terhadap alternatif A dan semakin ke arah kanan memberikan prioritas terhadap alternatif B. **Rentang angka pada penilaian prioritas, angka 1 merupakan skala prioritas paling rendah dan angka 9 merupakan skala prioritas paling tinggi.**

A. Berdasarkan Prioritas Kriteria

Prioritas kriteria berdasarkan dari ketiga kriteria adalah biaya investasi dan pengolahan, dampak lingkungan dan kemudahan pelaksanaan mana yang menjadi prioritas responden untuk mendasari dalam pemilihan alternatif nantinya.

| Alternatif | Skala Prioritas | | | | | | | | | | | | | | | | Alternatif | |
|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|-----------------------------------|
| Berdasarkan Biaya Investasi dan Pengolahan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Berdasarkan Dampak Lingkungan |
| Berdasarkan Biaya Investasi dan Pengolahan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Berdasarkan Kemudahan Pelaksanaan |
| Berdasarkan Dampak Lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Berdasarkan Kemudahan Pelaksanaan |

B. Berdasarkan Biaya Investasi dan Pengolahan

Kriteria biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru dan penambahan tenaga kerja terkait biaya pelatihan. Biaya pengolahan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk kegiatan pengolahan alternatif.

| Alternatif | Skala Prioritas | | | | | | | | | | | | | | | | | | Alternatif |
|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|
| Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal | |
| Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan | |
| Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan | |

C. Berdasarkan Dampak Lingkungan

Kriteria dampak lingkungan merupakan seberapa besar pengaruh alternatif terhadap reduksi dampak yang dianalisis pada *life cycle assessment* (LCA).

| Alternatif | Skala Prioritas | | | | | | | | | | | | | | | | | Alternatif |
|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal |
| Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan |
| Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan |

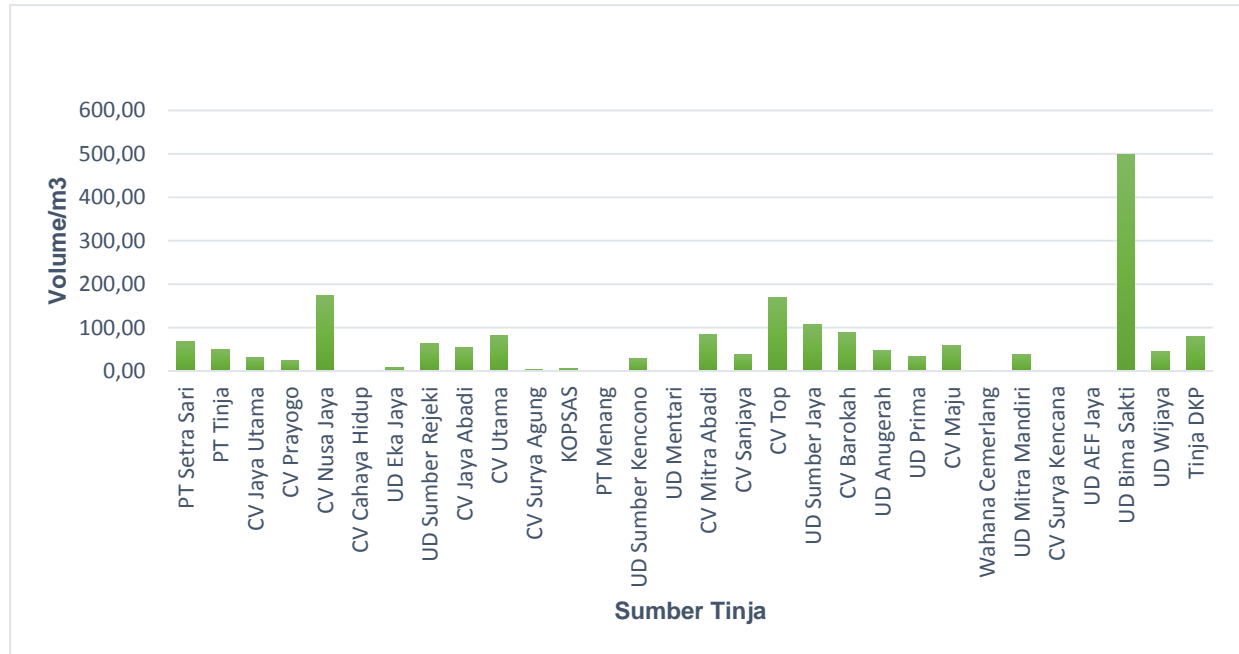
D. Berdasarkan Kemudahan Pelaksanaan

Kriteria kemudahan dalam pelaksanaan merupakan tingkat kemudahan dalam operasional pelaksanaan alternatif yang dipilih terbilang rendah.

| Alternatif | Skala Prioritas | | | | | | | | | | | | | | | | | Alternatif |
|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal |
| Proses aerasi secara berkala sebelum effluen dilepas ke lingkungan | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan |
| Melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Memperbaiki mesin pompa bila mengalami penyumbatan |

“Terima Kasih”

Lampiran 1.2 Grafik Volume dan Sumber Tinja IPLT Keputih



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Elvin Nur Nadhifatin lahir di Kecamatan Tuban, Kabupaten Tuban pada tanggal 07 Juni 1996 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN Kutorejo 1 Tuban pada tahun 2003-2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Tuban pada tahun 2009-2012 dan dilanjutkan pendidikan tingkat atas yang dilalui di SMAN 1 Tuban pada tahun 2012-2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan

S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 03211540000017.

Selama perkuliahan, penulis aktif pada organisasi maupun kepanitiaan di Departemen Teknik Lingkungan. Penulis merupakan Ketua Kemuslimahan Tim Kerohanian Al Kaun Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan periode 2016/2017 dan periode 2017/2018 serta menjadi anggota Divisi Syi'ar Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI) Institut Teknologi Sepuluh Nopember periode 2017/2018. Berbagai pelatihan dan seminar nasional dan internasional juga telah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri dan penambahan wawasan. Bila ada pertanyaan terkait tugas akhir penulis, silahkan menghubungi penulis via email di elvinnadhifatin@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”